

**Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**Núcleo de Computação Eletrônica**

**Maxli Barroso Campos**

**REDES SEM FIO 802.11 EM MALHA (Mesh Networks):**

**Uma alternativa para projetos de Redes sem fio  
em regiões Metropolitanas**

**Rio de Janeiro**

**2007**

**Maxli Barroso Campos**

**REDES SEM FIO 802.11 EM MALHA (Mesh Networks):  
Uma alternativa para projetos de Redes sem fio em regiões Metropolitanas**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Orientadora:

**Prof. Sergio Guedes de Souza, NCE/UFRJ, Brasil.**

Rio de Janeiro

2007

**Maxli Barroso Campos**

**REDES SEM FIO 802.11 EM MALHA (Mesh Networks):  
Uma alternativa para projetos de Redes sem fio em regiões Metropolitanas**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada em Abril de 2007.



---

**Prof. Sergio Guedes de Souza, NCE/UFRJ, Brasil**

À minha amada família por sua infinita compreensão.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela oportunidade de estar finalizando o Curso de Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet – Programa MOT C.N. - realizado no Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - NCE/UFRJ - que contribuiu sobremaneira para o meu amadurecimento profissional.

Ao meu orientador Professor Sergio Guedes, pelas valiosas contribuições para a execução deste trabalho e pela sua postura desafiadora que serviu para despertar em mim o prazer pela pesquisa.

Aos meus pais, a quem eu devo muito pelo que sou e por serem as pessoas que me amam incondicionalmente.

À minha esposa e meus filhos que nos momentos difíceis sempre estiveram ao meu lado com carinho e compreensão, compartilhando comigo as angústias e as vitórias que marcaram o êxito da conclusão desta jornada.

Ao amigo Guelfi que materializou o meu sonho de realizar o curso MOT-CN, sempre me estimulando e acreditando no meu sucesso.

Aos amigos que conquistei durante o curso do MOT-CN, no ano de 2005, que me proporcionaram momentos de muita satisfação e de alegria, tornando a arte de aprender muito prazerosa.

## RESUMO

CAMPOS, Maxli Barroso. **REDES SEM FIO 802.11 EM MALHA (Mesh Networks): Uma alternativa para projetos de Redes sem fio em regiões Metropolitanas.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

Uma região que não contemple em seu desenvolvimento nacional o acesso de qualidade à Internet e às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) é considerada excluída digitalmente. Uma das formas de se apoiar as políticas de inclusão digital é viabilizar projetos de baixo custo com o objetivo de implantar redes de comunicação de dados através da construção de infra-estrutura com capacidade para atender regiões Metropolitanas.

A tecnologia que tem obtido maior atenção do mercado na implantação de projetos de inclusão digital é a tecnologia de rede sem fio, seja devido as suas características ou porque em algumas situações é empregada como alternativa às soluções baseadas em infra-estruturas cabeadas. As redes sem fio Metropolitanas satisfazem as atuais necessidades dos projetos de rede, atingindo mais usuários em distâncias maiores e servindo com agentes no processo de disseminação do acesso à informação. Para implantação das redes sem fio Metropolitanas as tecnologias disponíveis são os padrões 802.16 (WiMax), como backbone da rede e o padrão 802.11 (Wi-Fi) disponível ao usuário final através de uma Wireless Local Area Network (WLAN).

Na busca por soluções alternativas de projetos de baixo custo, o mercado está apostando na própria tecnologia IEEE 802.11 para cobrir áreas metropolitanas. Esta nova tendência é sustentada pelos atuais avanços da tecnologia, pelo baixo custo e disponibilidade dos terminais 802.11 em relação aos terminais WiMAX e pela disseminação no uso das WLANs.

Por acreditar nesta perspectiva, este trabalho tem por objetivo aplicar a tecnologia 802.11 sob a topologia Mesh como solução de projeto tanto para o backbone da rede, quanto para rede de acesso para os usuários finais, no intuito de servir como alternativa a tecnologia WiMAX.

A proposta consiste na apresentação de uma Arquitetura de rede WMesh Metropolitana a ser explorada como solução de projeto de baixo custo por provedores de acesso, iniciativas de órgão públicos e privados visando a oferta de serviços de banda larga sem fio.

## ABSTRACT

CAMPOS, Maxli Barroso. **REDES SEM FIO 802.11 EM MALHA (Mesh Networks): Uma alternativa para projetos de Redes sem fio em regiões Metropolitanas.** Monografia(Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

A region where there's no access to the Internet and Information and Communication Technologies (ICT) is considered digitally excluded. One way of supporting policies of digital inclusion is to make possible low cost projects with the objective of building an infrastructure of networks of data communication with capacity to serve Metropolitan areas.

The technology that has been attracting most attention from the market in projects of digital inclusion is wireless network technologies, because it can be used as alternative to wired solutions. Wireless Metropolitan Area Networks (Wireless MANs) supply the current needs of network projects, reaching more users at larger distances and acting as agents in the process of information dissemination. Wireless network technologies currently available in the market are the IEEE Standards 802.16 (WiMAX), for Metropolitan Area Networks (MANs) and IEEE 802.11 for Local Area Networks (LANs).

In the search for alternative solutions for low cost projects, the market chose the IEEE Standard 802.11 technologies to cover metropolitan areas. This new tendency is sustained by improvements in the standard, by its low cost and availability of 802.11 terminals, in contrast to WiMAX infrastructure and terminal cost and availability.

In believing in this perspective, the objective of this work is to apply the 802.11 Mesh technology as a solution for both network backbone projects and last mile network implementation, to act as an alternative to WiMAX.

The proposal consists of the presentation of a net Architecture Metropolitan WMesh to be explored as solution of project of low cost by access providers, organ publics' initiatives and private seeking the offer of band services releases without thread.

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Padronização global (IEEE e ETSI) para redes sem fio	24
Figura 2 - Escopo das entidades e protocolos do padrão 802.11	28
Figura 3 - Períodos do Quadro MAC	30
Figura 4 - Funcionamento do CFP	31
Figura 5 - Evolução da família de protocolos 802.11	37
Figura 6 - União de duas BSS formando uma ESS.	41
Figura 7 - Arquitetura Lógica de uma rede 802.11	43
Figura 8 - A interligação de uma Rede Mesh	48
Figura 9 - Topologia de Rede Mesh	49
Figura 10 - Arquitetura de rede IEEE 802.11s	58
Figura 11 - Modelo de Rede Mesh conectada.	60
Figura 12 - Modelo de Rede Mesh Ad Hoc	61
Figura 13 - Topologia de uma rede Mesh com cobertura de uma MAN	66
Figura 14 - Os principais mecanismos de propagação	68
Figura 15 - Efeito da difração, vista de cima.	69
Figura 16 - Efeito da difração, vista lateral	69
Figura 17 - Efeito da reflexão	70
Figura 18 - Enlace outdoor, Zona de Fresnel.	73
Figura 19 - Formação do texto cifrado utilizando WEP	83
Figura 20 - Componentes de autenticação e criptografia do WPA	87
Figura 21 - Tecnologias utilizadas para construção de redes metropolitanas	91
Figura 22 - Arquitetura WMesh Metropolitana	93
Figura 23 - Formação do Wireless Distributed Systems (WDS)	95
Figura 24 - Integração dos MAPs ao WDS Mesh	96
Figura 25 - Acesso de backhaul	97

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Canalização do padrão IEEE 802.11b	33
Tabela 2 - Canalização do padrão IEEE 802.11a para uso no Brasil	34
Tabela 3 - Características dos padrões de interface aérea IEEE 802.11	36
Tabela 4 - Padrões 802.11 a, b e g, e suas principais características	37
Tabela 5 - Outros grupos tarefa do IEEE 802.11	41
Tabela 6 - Características e complexidades das redes móveis ad hoc	46
Tabela 7 - Comparação das redes Mesh em níveis diferentes de mobilidade	59
Tabela 8 - Valores para os equipamentos de radiação restrita	80

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AES	Advanced Encryption Standard
AODV	Ad-Hoc on Demand Distance Vector
AP	Access Point
ARP	Address Resolution Protocol
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
BSA	Basic Service Area
BSS	Basic Service Set
CCA	Clear Channel Assessment
CFP	Contention Free Period
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CW	Content Window
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DCF	Distributed Coordination Function
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DHPC	Dynamic Host Configuration Protocol
DS	Distribution System
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector routing
DSR	Dynamic Source Routing
DSS	Distribution System Service
DSSS	Direct Sequenc Spread Spectrum
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
ESA	Extended Service Area
ESS	Extended Service Set
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Comission
FHHS	Frequency Hopping Spread Spectrum
Hyperlan	High Performance Radio Lan
HomeRF	Home Radio Frequency
IAPP	Inter-Access Point Protocol
IBSS	Independent Basic Service Set
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
IrDA	Infrared Data Association,
LOS	Line of sight
MAC	Medium Access Control
MANET	Mobile Ad Hoc Network
MAP	Mesh Access Point
Mesh	Malha
Mesh ESS	Mesh Extended Service Set
MIMO	Multiple input Multiple output
MP	Mesh Point
MPDU	Medium Access Control Data Unit
MSTA	Mesh Station

NAV	Network Allocation Vector
OFDM	Optimized Link State Routing
OLSR	Optimized Link State Routing
OSPF	Open shortest path first
PAN	Personal Area Network
PCF	Point Coordination Function
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PHY	Physical
PIFS	Point Coordination Function Inter Frame Space
PLCP	Physical Layer Convergence Procedure
PMD	Physical Medium Dependent
PRNET	Packet Radio Network
QOs	Quality of Service
RIP	Routing internet protocolo
RTS/CTS	Request To Send/Clear To Send
SS	Stations Service
SAP	Service Access Point
STA	Station
TKIP	Temporal Key Integrity Protocol
TGs	Task Group of IEEE 802.11s
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
USB	Universal Serial Bus
VoIP	Voz sobre Internet Protocol
WAN	Wireless Distribution System
WDS	Wireless Distribution System
WECA	Wireless Ethernet Compability Alliance
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WMesh	Wireless Mesh
TDMA	Time Division Multiple Access
TG	Task Group

## SUMÁRIO

	Página
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	14
1.1 RELEVÂNCIA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA	20
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b>	22
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	22
2.2 TECNOLOGIA WI-FI	22
2.2.1 Introdução às Redes Locais sem fio	23
2.2.2 Cenário atual: Padrões IEEE 802 para Redes sem fio	24
2.2.3 Vantagens	26
2.2.4 Desvantagens	27
2.3 PADRÃO 802.11	27
2.3.1 Camada MAC	28
2.3.2 Camada física	31
2.3.3 IEEE 802.11b	32
2.3.4 IEEE 802.11a	34
2.3.5 IEEE 802.11g	35
2.3.6 Evolução do padrão	36
2.3.6.1 Draft 802.11n	38
2.3.6.2 Draft 802.11s	39
2.3.6.3 Extensões e suplementos da família IEEE 802.11	40
2.3.7 Topologias de rede	41
2.3.8 Modos de Operação	42
2.3.8.1 Rede Infra-estruturada	43
2.3.8.2 Rede Ad Hoc	44
2.4 INTRODUÇÃO ÀS REDES EM MALHA SEM FIO	47
2.4.1 Histórico	50
2.4.2 Aplicações das redes WMesh	50
2.4.3 Vantagens	52
2.4.4 Desafios	55
2.5 PANORAMA DO FUTURO PADRÃO IEEE 802.11s	57
2.5.1 Proposta para Arquitetura de rede 802.11s	58
2.5.2 Modelos de redes Mesh	60
2.5.3 A formação de uma rede sem fio com topologia Mesh	61
2.5.4 Roteamento	62
2.5.4.1 Protocolos de Roteamento na camada IP em Redes sem fio Ad Hoc	62
2.5.4.2 Roteamento na Camada MAC vs. Roteamento na Camada IP	64
2.5.5 Domínios de aplicação	65
2.6 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE REDES SEM FIO	66
2.6.1 O meio de transmissão	67
2.6.2 Fenômenos de propagação	69
2.6.3 Zona de Fresnel	73
2.6.4 O espectro de frequências	75
2.6.4.1 Frequências licenciadas ou não licenciadas	75
2.6.5 Equipamentos de Radiação restrita	76
2.6.5.1 Condições gerais de uso para radiação restrita	77
2.6.5.2 Resolução ANATEL N.º 365/2004	77



2.6.5.3 Resolução ANATEL N.º 397/2005	79
2.6.6 <b>Segurança</b>	81
2.6.6.1 Wired Equivalent Privacy (WEP)	82
2.6.6.2 WI-FI Protected Access (WPA)	84
2.6.6.3 Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS)	87
2.6.6.4 Virtual Private Network (VPN)	87
2.6.6.5 Extensible Authentication Protocol (EAP)	88
2.6.6.6 Protected EAP (PEAP)	89
2.6.6.7 WPA2	89
3.0 <b>PROJETO DE REDE WMESH METROPOLITANA</b>	90
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	90
3.2 REDES SEM FIO METROPOLITANA	91
3.3 ARQUITETURA DE REDE WMESH METROPOLITANA	92
3.3.1 <b>Formação de um Sistema Autônomo Mesh</b>	95
3.3.2 <b>Segurança</b>	97
3.3.2.1 Autenticação	98
3.3.2.2 Codificação	98
3.3.3 <b>Roteamento</b>	99
3.3.3.1 Métricas	100
3.3.4 <b>Considerações de Aplicação da Arquitetura</b>	100
3.3.5 <b>Vantagens</b>	102
3.4 ESTUDO DE CASO	104
3.4.1 <b>Universidade Federal do Rio de Janeiro</b>	104
3.4.2 <b>Formação do backbone Metropolitano</b>	105
3.4.2.1 Rede Acadêmica	107
3.4.2.2 Redes Comunitárias	107
3.4.2.3 Projeto de Inclusão digital	109
3.4.3 <b>Benefícios da rede Metropolitana</b>	109
4.0 <b>CONCLUSÕES</b>	111
4.1 TRABALHOS FUTUROS	111
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	112
<b>ANEXOS</b>	115

## 1 INTRODUÇÃO

O surgimento da “Sociedade da Informação global”<sup>1</sup> está transformando o estilo de vida das pessoas e trazendo mudanças radicais na obtenção das informações, tanto no ambiente de trabalho quanto no nível de relacionamento pessoal [Gouveia, 2004]. Este novo modelo de Sociedade tem como um dos canais de disseminação da informação a Internet<sup>2</sup>, que disponibiliza de forma global, acesso a novas fontes de conhecimento, permitindo a transferência de dados/troca de informações utilizando tecnologias de comunicação cada vez mais acessíveis aos cidadãos. Esta disseminação de informações e idéias tem promovido o conhecimento e suas muitas aplicações para milhões de pessoas, independente da classe sócio-econômica, criando novas escolhas e oportunidades.

Paralelamente a isto há um consenso na concepção de que a sociedade está em processo de evolução para uma nova forma de organização, fundamentada no conhecimento. O grau de imersão na Sociedade da Informação constitui-se inequivocamente em forte indicador da participação de um País na nova economia. Por esse motivo, na Era do Conhecimento, mais do que uma opção, a familiarização com as novas tecnologias tornou-se um imperativo.

Segundo Annan (2003) o acesso à informação é estratégico para o desenvolvimento socio-econômico de um País, porém, muitas regiões ainda não participam desta revolução, permitindo identificar uma clara distância entre ricos e pobres, ficando estas classificadas como excluídas digitalmente<sup>3</sup>.

Seguindo esta premissa, é possível supor que os avanços tecnológicos contínuos que integram a Internet não deixa margem para escolha, causando, de fato, fatores limitadores nas trajetórias de desenvolvimento de uma nação, caso esta não opte, por exemplo, por uma educação que tenha como base a Internet e os meios digitais. Com base nesta premissa [Castells, 1999] argumenta que se delineia uma crise da marginalização das nações, perpetuando as desigualdades sociais, que não puderem optar ou ingressar na Era da Informação.

---

<sup>1</sup> Segundo Gouveia a Sociedade da Informação é a “sociedade que recorre predominantemente às tecnologias da informação e comunicação para a troca de informação em formato digital, suportando a interação entre indivíduos e entre estes e instituições, recorrendo a práticas e métodos em construção permanente”.

<sup>2</sup> Como principal tecnologia de informação nos dias atuais, a Internet é um meio de comunicação composto por um conglomerado de redes em escala mundial, que interliga milhões de computadores e disponibiliza acesso a informações e todo tipo de transferência de dados.

<sup>3</sup> Exclusão digital é o termo utilizada para designar as desigualdades existentes entre as diferentes classes sociais no que se refere às possibilidades de acesso à Sociedade da Informação.

Segundo essa concepção, não há mais como falar em assegurar saúde, educação, água, eletricidade e segurança às populações de forma dissociada do desenvolvimento tecnológico. Isso porque um país que não possui economia fundamentada nas tecnologias da informação jamais conseguirá gerar recursos de forma sustentável para suprir as necessidades básicas da sua população. Assim sendo, podemos dizer que o desenvolvimento nacional sem contar com acesso de qualidade à Internet e às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) equivale ao que seria uma suposta tentativa de industrialização no século XIX sem contar com fontes de energia suficientes.

Desta forma, o grande desafio consiste em executar projetos de curto prazo para a democratização das TIC e, ao mesmo tempo, planejar metas de médio e longo prazo para redução das desigualdades utilizando as novas tecnologias, e estimulando a expansão da infra-estrutura nacional de comunicações e informática.

Tais projetos devem contemplar a implementação de uma rede de comunicação de dados a partir da definição da tecnologia de comunicação a ser utilizada e a construção de uma infra-estrutura com capacidade para atender uma região Metropolitana, buscando apoiar políticas de inclusão digital sobre três pilares: a modernização do estado, a promoção das iniciativas sociais e o crescimento da atividade econômica. Exemplos de algumas implementações no Brasil, realizadas por prefeituras com apoio da iniciativa privada, são o projeto Piraí digital no RJ [Coelho, 2005], o de Ouro Preto em MG [Cavalcanti, 2005] e o de Sud Mennucci em SP [Franco, 2006].

Uma Rede de dados com cobertura Metropolitana é definida como sendo a infra-estrutura necessária para interconectar os diversos pontos de uma cidade, como por exemplo casas, escritórios, hospitais, escolas, áreas públicas. Exige o uso de duas tecnologias: uma para construção do “backbone metropolitano”, que corresponde a rede de distribuição, com vias de alta velocidade, capazes de transportar o tráfego agregado de múltiplos usuários e outra para construção das redes de acesso, com vias de menor capacidade que conectam todos os usuários ao próprio backbone.

Para construção de tais redes existem tecnologias baseadas em infra-estruturas tradicionais, como cabos de fibra ótica ou cobre (DSL e cable-modem). Todavia, sua utilização tem custo muitas vezes proibitiva para suprir acesso à áreas remotas ou em zonas de pouca densidade demográfica.

Neste contexto, as tecnologias de redes sem fio são empregadas como alternativa em relação às redes cabeadas por apresentarem velocidade satisfatória, causar menos transtornos para sociedade já que as necessidades quanto a infraestrutura são menores, diminuindo o impacto causado por obras civis e ambiental, otimizando os custos e demandando menor tempo para sua instalação. Ainda permite a utilização de espectros de frequência não-licenciada, disponibilizando acesso rápido e prático à informação com mobilidade.

Vários padrões e tecnologias de redes sem fio surgiram nos últimos anos com a finalidade de ampliar as áreas de coberturas das redes cabeadas, trazer mobilidade, flexibilidade e disponibilizar aplicações a seus usuários com a melhor qualidade possível. Estas tecnologias foram projetadas para atender a segmentos específicos de utilização, desde Redes pessoais (PANs), Redes locais (LANs), Redes metropolitanas (MANs), chegando as Redes geograficamente distribuídas (WANs)<sup>4</sup>, sempre buscando atender requisitos como necessidade de largura de banda, área de cobertura, consumo de energia, localização de usuário e disponibilidade de aplicações.

Dentre as tecnologias de rede sem fio disponíveis para implantação das redes Metropolitanas, podemos destacar o padrão 802.16 (WiMax), que provê serviço de banda larga através da formação de uma malha de distribuição para acesso metropolitano, necessária para interconectar os diversos pontos de uma área urbana e o padrão 802.11 (Wi-Fi) que consiste de uma rede de acesso com cobertura limitada, disponível ao usuário final através de uma Wireless Local Area Network (WLAN).

WiMAX é o nome popular dado à tecnologia definida pelo padrão IEEE 802.16<sup>5</sup>, também conhecido como IEEE Wireless MAN ou ainda “*Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*”, projetada para o acesso banda larga

---

<sup>4</sup> As PANs sem fio (Wireless PANs – WPANs) são restritas ao uso pessoal, com alcance máximo de 10 metros e dois padrões em destaque: o Bluetooth e o UWB (Ultra-Wide Band). As LANs sem fio (Wireless LANs - WLANs) suportam mais aplicações e usuários que as WPANs, são baseadas no padrão IEEE 802.11, cobrindo distâncias de até 100m. O padrão definido para redes metropolitanas sem fio (WMANs) é o IEEE 802.16, concebido inicialmente para atender à chamada última milha (representada por usuários finais domésticos e corporativos) cobrindo áreas de até 50 Km, com qualidade comparável às tecnologias DSL e aos circuitos dedicados. As Wide Area Network (WAN), também conhecida como rede geograficamente distribuída, agregam MANs em grandes áreas geográficas (acima de 50 Km).

<sup>5</sup> O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos ou IEEE é uma organização profissional sem fins lucrativos, fundada nos Estados Unidos com o objetivo de promover conhecimento no campo da engenharia elétrica, eletrônica e computação, buscando estabelecer padrões para formatos de computadores e dispositivos.

de última milha nas redes Metropolitanas (MANs), trazendo desempenho comparável às soluções cabeadas tradicionais, como DSL ou T1/E1 e cobrindo distâncias maiores sem a necessidade de investimento em uma infra-estrutura de alto custo.

O termo Wi-Fi é comumente associado à tecnologia descrita na norma IEEE 802.11, que define o uso dos dispositivos de LAN wireless nas faixas de frequência livres de 2,4 GHz e 5 GHz. 802.11 se refere a uma família de especificações para tecnologia LAN wireless, e especifica uma interface sem fio entre um cliente wireless e uma estação base, ou entre dois clients wireless utilizando um meio compartilhado. É a tecnologia que tem obtido maior êxito comercial por fornecer equipamentos de fácil, rápida e simples instalação e principalmente, por permitir a utilização nas faixas de frequência destinadas a serviços médicos, científicos e experimentais (faixa restrita, sem necessidade de licença junto aos órgãos reguladores<sup>6</sup>).

O baixo custo e a disponibilidade dos terminais de usuários IEEE 802.11 em relação aos terminais WiMAX, a disseminação no uso de WLANs, associados com os atuais avanços das tecnologias 802.11, com as extensões 802.11n<sup>7</sup>, que tem por objetivo permitir taxas de transmissão de até 100 Mbps e o 802.11s<sup>8</sup>, que tem por finalidade estender a área de cobertura das células Wi-Fi utilizando tecnologia Mesh, tem permitido identificar soluções alternativas de projetos de baixo custo, utilizando a própria tecnologia 802.11 para cobrir redes metropolitanas, com infra-estrutura para atender desde operadores de telecomunicações até iniciativas de órgão públicos ou privados.

Duas abordagens se destacam: implementar redes sem fio utilizando antenas direcionais em uma configuração ponto-a-ponto ou utilizar a tecnologia segundo uma topologia Mesh, em malha [Intel, 2004]. Estas abordagens tem permitido ao padrão 802.11 através do aumento na área de abrangência e nas taxas de transmissão estar presente nos segmentos das LANs e MANs, alcançando distâncias de até 10 Km a 54 Mbps.

---

<sup>6</sup> No Brasil a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é o órgão responsável por regulamentar o emprego de equipamentos que trabalham em faixa restrita.

<sup>7</sup> O TGn é um grupo tarefa formado em Janeiro de 2004, com o objetivo de desenvolver o futuro padrão 802.11n capaz de fornecer taxas reais de pelo menos 100 Mbps, com alcances ainda superiores aos dos padrões atuais.

<sup>8</sup> O TGs é um grupo tarefa formado em Maio de 2004, com o objetivo de investigar e projetar redes com topologia Mesh, em malha, para desenvolver o futuro padrão 802.11s com o intuito de permitir que diferentes dispositivos WLAN realizem roteamento na camada de enlace.

As Redes Wireless Mesh ou WMesh, com sua topologia dinâmica, constituídas por nós cuja comunicação, no nível físico, é feita através de uma das variantes do padrão 802.11, são construídas com base em algoritmos de roteamento cooperativos, do tipo encontrado em redes sem fio e sem infra-estrutura, e.g., redes Ad Hoc.

Exemplos de projetos piloto de redes de acesso sem fio no meio Acadêmico utilizando a tecnologia IEEE 802.11 com topologia do tipo Mesh e comunicação em modo Ad Hoc são o RoofNet no MIT, EUA [Bicket, Aguayo e Biswas, 2005], Vmesh [Tsarmpopoulos, Kalavros e Lalis, 2005] na Grécia e MeshNet na UCSB, EUA [Ho, Ramachandran, Almeroth e Belding-royer, 2004].

As redes WMesh vem despertando a atenção do mercado nos últimos anos e estão sendo consideradas por muitas empresas e pesquisadores a tecnologia promissora na transmissão sem fio. A empresa de consultoria Heavy Reading [Corner, 2007] estima que globalmente o mercado em torno das WMesh devem atingir a cifra de US\$ 1 bilhão até 2008.

Atualmente a tecnologia de rede WMesh está sendo desenvolvida por diversas empresas, a maioria delas iniciantes. Estes desenvolvimentos, apesar de serem, em muitos aspectos, aderentes à algumas especificações atualmente utilizadas, como a 802.11 e 802.16, apresentam diversos aspectos particulares e patenteados pelas empresas desenvolvedoras.

O IEEE vem trabalhando para a incorporação da especificação da tecnologia Mesh nos diversos padrões. Para isto foi criado, em Janeiro de 2004, um Grupo de estudos Mesh, denominado como TGs [IEEE 802.11s, 2006]. Em março de 2004, durante a reunião plenária do grupo de trabalho 802.11 do IEEE, foi iniciada uma tarefa prevista para ser concluída em Março de 2008, com o objetivo do desenvolvimento de uma padronização Mesh, dentro do 802.11. Da mesma forma, os grupos responsáveis pelos outros padrões, tais como o 802.16 [IEEE 802.16s, 2006] estão iniciando movimentos para promover a padronização da tecnologia Mesh.

As principais propostas do TGs denominado “Mesh ESS IEEE”, é padronizar o sistema de distribuição sem fio (WDS) em malha, a comunicação entre os nós utilizando múltiplos saltos e o roteamento na camada de enlace. Estas propostas permitem que as redes WMesh sejam utilizadas como alternativa à tecnologia WiMAX, na medida em que podem ser aplicadas como redes de distribuição para

cobrir uma área metropolitana e também como redes de acesso, possibilitando estender a área de cobertura das WLANs dos atuais hot-spots para hot-zones.

A partir desta premissa, a proposta do trabalho se baseia em empregar a tecnologia 802.11(IEEE 802.11a/b e g) sob a topologia Mesh tanto no segmento das redes LANs quanto MANs. Para isto será apresentada uma Arquitetura de rede WMesh com cobertura Metropolitana, no intuito de servir como solução de projeto de baixo custo para provedores de acesso, iniciativas de órgão públicos e privados visando a oferta de serviços de banda larga sem fio.

## 1.1 RELEVÂNCIA

O rápido surgimento da “Sociedade da Informação” global está transformando o estilo de vida das pessoas e trazendo mudanças radicais na obtenção das informações, tanto no ambiente de trabalho quanto a nível de relacionamento. Uma explosão no fluxo de informações e idéias tem trazido conhecimento e suas muitas aplicações para milhões de pessoas, criando novas escolhas e oportunidades.

Identifica-se, desta forma, que o acesso à informação torna-se estratégico para o desenvolvimento socio-econômico de uma sociedade. Apesar disso, muitas regiões ainda não participam desta revolução, permitindo identificar uma clara distância entre ricos e pobres, ficando estas classificadas como excluídas digitalmente.

Neste contexto, as tecnologias de redes sem fio apresentam-se como solução de inclusão digital por apresentarem velocidade satisfatória, serem de fácil implantação, não necessitar de volumosos recursos para sua implementação e permitir a utilização de espectros de frequência não-licenciada.

A ONU, através de uma força tarefa de tecnologia da Informação e Comunicação do Wireless Internet Institute (WiE), está diretamente patrocinando a implantação das Cidades Digitais em regiões de baixa renda com o objetivo de realizar inclusão digital. Nestas regiões de escassos recursos e muitas vezes localizados em áreas inóspitas as redes sem fio apresentam-se como única solução.

Uma das principais características da tecnologia de rede sem fio com topologia Mesh, foco deste trabalho, é ser uma tecnologia disruptiva [Lee, Zheng, Ko e Shrestha, 2006], permitindo que novas empresas explorem mercados já estabelecidos, utilizando-se dos baixos custos associados de projeto. A tecnologia

disruptivas caracterizam-se por apresentarem soluções radicalmente novas e não apenas melhorias de produtos.

Comprova-se que o estudo das redes sem fio Mesh além de ter grande relevância acadêmica, devido a grande atenção que esta tecnologia está tendo nos últimos anos pela indústria, também tem motivação técnica, social e econômica.

## 1.2 OBJETIVOS

A indústria de telecomunicações tem dado início a uma série de atividades para o desenvolvimento de soluções novas, eficientes e de baixo custo para redes com topologia em malha.

A proposta deste trabalho consiste em utilizar a tecnologia 802.11 sob a topologia Mesh como solução de projeto tanto para o backbone da rede, quanto para rede de acesso para os usuários finais (acesso de última milha), estendendo a área de cobertura dos tradicionais hotspots para hotzones. O objetivo é propor uma Arquitetura WMesh Metropolitana a ser explorada por provedores de serviço, iniciativas de órgãos públicos e privados como solução de projeto de baixo custo, visando a oferta de serviços de banda larga sem fio (wireless broadband)<sup>9</sup>, como alternativa à tecnologia WiMAX.

## 1.3 ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

Este trabalho está estruturado em 4 capítulos. O primeiro capítulo apresenta algumas noções introdutórias, sua motivação e os objetivos deste trabalho.

O segundo capítulo contém a base teórica necessária para a compreensão do trabalho, apresentado os conceitos básicos do padrão 802.11 e das redes sem fio Mesh. Ainda neste capítulo serão abordadas as propostas do TG conhecido como 802.11s do IEEE (estas propostas tem por objetivo alcançar a padronização da tecnologia Mesh) e as principais considerações de Projeto de redes sem fio.

O terceiro capítulo detalha a aplicação da Arquitetura de rede WMesh Metropolitana, proposta neste trabalho, em projetos de redes sem fio Metropolitanas. São apresentados os principais aspectos da proposta e o emprego da Arquitetura, que está de acordo com as propostas do TG 802.11s do IEEE, em soluções de

---

<sup>9</sup> O termo banda larga sem fio refere-se, neste contexto, a transmissão de dados em alta velocidade ocorrida dentro de uma infra-estrutura de pontos fixos, incluindo tanto os terminais de assinantes quanto os servidores de serviço.



projeto tanto para o backbone da rede quanto para acesso dos usuários (acesso de última milha) em redes Metropolitanas. No final deste capítulo será apresentado um estudo de caso que contempla a aplicação da Arquitetura de rede WMesh Metropolitana no campus da Ilha do Fundão da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

E finalmente, as conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas no quarto capítulo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo contém a base teórica necessária para a compreensão do trabalho, mostrando os conceitos básicos do padrão 802.11, das redes Mesh e das considerações de um Projeto de rede sem fio.

Com relação à tecnologia de rede Mesh, foco principal do trabalho, será abordado sua origem, as perspectivas do futuro padrão 802.11s e as principais vantagens da tecnologia. A descrição destas vantagens possibilitará uma melhor compreensão dos motivos pelo qual esta tecnologia está movimentando o mercado de transmissão sem fio. Ainda neste capítulo há uma descrição dos desafios a serem enfrentados pelos engenheiros e acadêmicos na busca de uma arquitetura mais robusta e confiável para que esta tecnologia venha a ser implementada em larga escala.

### 2.2 TECNOLOGIA WI-FI

Nas últimas décadas, boa parte da humanidade foi colocada frente a frente com uma invasão de inovações tecnológicas em todas as esferas do dia-a-dia. De acordo com Farrel (2005) e Zakon (2005) um dos mais importantes marcos destes avanços foram as invenções e desenvolvimentos dentro das áreas da Comunicação de Dados, da Ciência da Computação e Tecnologia da Informação, que permitiu, entre outros, a concepção de novas mídias destinadas à troca de informações, com inúmeras possibilidades para a troca e construção de conhecimento para diversas áreas do conhecimento; novos desenvolvimentos tecnológicos específicos, que possibilitam a mudança das perspectivas metodológicas em diversas áreas do conhecimento; e o desenvolvimento de novas mídias de entretenimento. Em especial, o advento de uma conectividade mundial via rede de computadores, a Internet, tornou viável o desenvolvimento dessas inovações enfocando a interatividade, mobilidade e a colaboração.

Segundo Castaldelli (2003) a sociedade da era da informação acostumou-se a ter acesso a todo tipo de conteúdo praticamente em tempo real onde a mesma informação deve, idealmente, estar disponível através de varios meios diferentes.

Essa necessidade tem permitido a aposta, por parte das industrias, no constante desenvolvimento e crescimento do segmento de computadores pessoais e

PDA's (Personal Digital Assistants), e estima-se que dezenas de milhões de pessoas terão um laptop, pocket PCs, tablet PCs, smart phones ou algum tipo de PDA com interfaces sem fio. Essas inovações tecnológicas estão promovendo transformações estruturais que conduzem a novos hábitos e valores na sociedade, ratificando uma tendência moderna de se implantar cada vez mais a comunicação móvel baseada em uma rede sem fio.

Essa propensão é motivada tanto por aspectos da inviabilidade da instalação de redes com fio em certos lugares, como pelo barateamento dos equipamentos sem fio e da interoperabilidade entre os diversos fornecedores de soluções sem fio. Outros fatores relacionados a essas tendências são de mobilidade e flexibilidade que as comunicações sem fio fornecem na obtenção e troca de informação.

A Comunicação sem fio ou Wireless pode ser definida simplesmente como todo e qualquer tipo de comunicação que não utiliza fios (ou qualquer outro sistema físico) para se propagar. É o estilo de comunicação que dá suporte à computação Móvel, permitindo à mesma garantir mobilidade aos seus usuários.

### **2.2.1 Introdução às Redes Locais sem fio**

“Uma rede sem fio é um sistema que interliga vários equipamentos fixos ou móveis utilizando o ar como meio de transmissão [IEEE P802.11]”. É implementada no intuito de servir como uma extensão ou uma alternativa às redes locais (Local Area Network - LAN) convencionais com fio, criando-se o conceito de rede local sem fio (Wireless Local Area Network - WLAN), minimizando a utilização de cabos e permitindo mobilidade.

Uma WLAN converte pacotes de dados em ondas de rádio ou infravermelho e os envia para outros dispositivos sem fio ou para um ponto de acesso que serve como uma conexão para uma LAN com fio. Segundo Maia (2003), em ambientes corporativos, por exemplo, essas redes funcionam como uma boa opção, permitindo aos usuários o acesso a informações em tempo real de qualquer lugar dentro da organização. Esta mobilidade permite maior produtividade e oportunidades de serviço que não são possíveis em uma rede com fios.

As primeiras tecnologias para WLANs eram soluções proprietárias, com baixas taxas de transmissão, confiabilidade muito limitada e segurança deficiente. Esta falta de padronização acarretava a não interoperabilidade entre equipamentos

de diferentes fabricantes, limitando sua aplicação e elevando os custos de aplicação. A partir de 1997 é que começaram a surgir padrões criados por consórcios industriais e organismos como o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) e o ETSI (European Telecommunication Standards Institute)<sup>10</sup>.

### 2.2.2 Cenário atual: Padrões IEEE 802 para Redes sem fio

O IEEE define uma hierarquia de padrões complementares para redes sem fio (Figura 1.1). Essa padronização inclui o IEEE 802.15 para as PANs, IEEE 802.11 para as WLANs, 802.16 para as MANs e o IEEE 802.20 para as redes geograficamente distribuídas (Wide Area Network – WAN). Cada padrão representa a tecnologia otimizada para mercados e modelos de uso distintos, sendo projetado para complementar os demais.

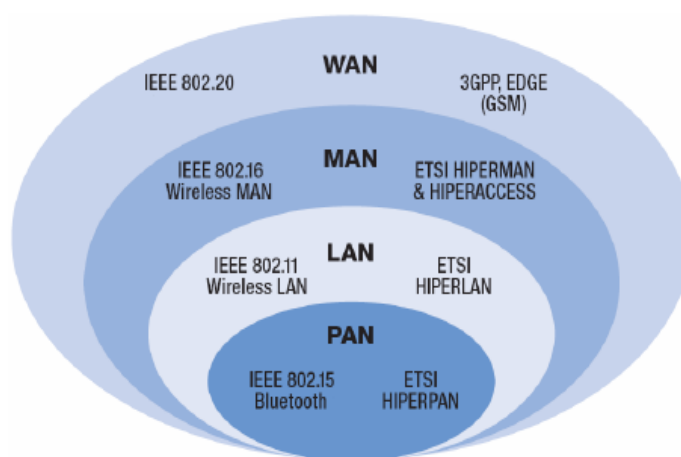


Figura 1 – Padronização global (IEEE e ETSI) para redes sem fio. Fonte: [ITU, 2003]

Dentre as diversas tecnologias para redes locais sem fio existentes, as que mais se destacam são os padrões: Wi-Fi (IEEE 802.11), Hyperlan, DECT, IrDA, HomeRF e BlueTooth<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> O Instituto Europeu de Normas de Telecomunicações ou ETSI foi formado pela Comissão Europeia em 1998, incluindo fabricantes e operadores com o objetivo de definir os padrões na área de telecomunicações a serem implementados na Europa

<sup>11</sup> O termo Wi-Fi é marca registrada pertencente à Wireless Ethernet Compatibility Alliance -WECA, abreviatura para "wireless fidelity" é uma tecnologia de interconexão entre dispositivos sem fio, usando os protocolos IEEE 802.11. Infrared Data Association (IrDA) é uma organização que define padrões de comunicação sem fio entre equipamentos por infravermelho. Seu tipo de barramento permite a conexão de dispositivos ao microcomputador (ou equipamento com tecnologia apropriada), tais como impressoras, telefones celulares, notebooks e PDAs. Bluetooth é uma tecnologia de baixo custo para a comunicação sem fio entre dispositivos eletrônicos a curtas distâncias, usado para comunicação entre pequenos dispositivos de uso pessoal, como PDAs, telefones celulares (telemóveis) de nova geração, computadores portáteis, mas também é utilizado para a comunicação de periféricos, como impressoras, scanners. O HomeRF é mais um padrão de redes sem fio que utiliza a faixa dos 2.4 GHz, mas que acabou levando a pior com o lançamento do 802.11b. Utiliza um

Segundo Cabianca, Bulhman (2006) a utilização de sistemas de espalhamento espectral (desenvolvidas inicialmente para uso militar), novas técnicas de modulação (como Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) nas faixas de frequência destinadas a serviços médicos, científicos e experimentais (faixa restrita, cujo o uso não necessita de licenciamento junto aos órgãos reguladores, embora sob certas condições é necessário o licenciamento da estação) tornaram os padrões IEEE 802.11 muito populares para a transmissão de dados, criando um ambiente favorável para a expansão da tecnologia e o uso de WLANs em Universidades, escritórios, aeroportos, residências, com custos cada vez menores e utilizando equipamentos de fácil instalação com taxas de transmissão de até 54 Mbps.

Atualmente estão disponíveis no mercado vários dispositivos utilizando a tecnologia 802.11, desde cartões Personal Computer Memory Card International Association (PCMCIA) utilizados em notebooks, Personal Digital Assistants (PDAs) e handhelds, dispositivos para portas Universal Serial Bus (USB) e slots Peripheral Component Interconnect (PCI) para desktops e ainda microprocessadores com dispositivo 802.11 integrado (como a linha Centrino™ da Intel®). Há também telefones de voz sobre IP (VoIP) sem fio, routers e Access Points (AP's) integrados com estas tecnologias.

O avanço das tecnologias de rede sem fio, a disseminação no uso das WLANs e a inclusão de novas extensões ao padrão 802.11, como por exemplo o 802.11n que tem por objetivo permitir taxas de transmissão de até 100 Mbps e o 802.11s, que tem por finalidade estender a área de cobertura das WLANs dos atuais hot-spots<sup>12</sup> para hot-zones<sup>13</sup> a partir do uso da topologia Mesh, possibilitará o emprego da tecnologia 802.11 na elaboração de projetos que atendam ao segmento das MANs.

---

protocolo chamado Shared Wireless Access Protocol, onde as interfaces de rede se comunicam diretamente, sem o uso de um ponto de acesso, diminuindo o custo da rede, mas também comprometendo o alcance do sinal, que é de (em condições ideais) apenas 50 metros.

<sup>12</sup> Hotspot é o termo utilizado para definir o local onde a tecnologia Wi-Fi está disponível com área de cobertura limitada a potência dos equipamentos Access Points. São locais públicos como cafés, restaurantes, hotéis e aeroportos onde você pode se conectar à internet utilizando um notebook, PDA.

<sup>13</sup> Hotzone é o termo utilizado para definir uma grande área coberta por sinal wireless a partir da interligação de APs via um sistema de distribuição sem fio, ou seja, interligando um conjunto de hotspots.

Esta perspectiva irá abrir um novo nicho de mercado que poderá ser explorado por provedores de acesso, pelos governos no que tange a governança pública e inclusão digital, assim como em redes comunitárias e Cidades digitais.

### 2.2.3 Vantagens

As WLANs se tornaram mais populares nos últimos anos principalmente em razão da redução dos custos de equipamentos de comunicação sem fio no mercado de telecomunicações. Atualmente, os custos de instalação de uma rede sem fio já são inferiores aos de uma rede cabeada tradicional. Esta diferença não se deve apenas a redução de preços dos componentes sem fio, mas também na disparidade dos custos de instalação física destes dois tipos de rede.

Atualmente pode se afirmar que as WLANs são uma importante solução de conectividade em todos os segmentos de negócios, dada a necessidade do ser humano em ter mobilidade com portabilidade no seu dia a dia. A rapidez de instalação aliada à flexibilidade em alterações de layout e a escalabilidade de topologias nas redes WLAN fazem seus pontos fortes se comparada às redes cabeadas.

Por esta razão, as redes sem fio não vem sendo utilizadas apenas em locais onde se exige portabilidade, como hotspots, onde os usuários utilizam notebooks ou PDAs e apresentam posicionamento variável, mas também em locais onde se utilizam desktops com posicionamento estático, como escritórios e salas de aula.

As principais vantagens das redes de acesso sem fio sobre redes cabeadas são [Junior, 2005]:

- a) Mobilidade;
- b) Flexibilidade;
- c) Instalação rápida e fácil;
- d) Configuração rápida e simples da rede;
- e) Possibilita a instalação de redes temporárias;
- f) Instalação em locais de difícil passagem de cabos;
- g) Baixos custos de instalação; e
- h) Maior produtividade.

### 2.2.4 Desvantagens

Ainda segundo Junior (2005) as principais desvantagens das WLANs são inerentes às tecnologias baseadas em transmissão sem fio:

- a) Interferências por equipamentos de terceiros e por equipamentos operando na mesma faixa de frequência;
- b) Efeitos de multipercursos causados pelos fenômenos de reflexão, difração e espalhamento, perdas decorrentes da distância da estação móvel ao ponto de acesso;
- c) Largura de banda variável e difícil de se prever a priori;
- d) Segurança das informações trafegadas, pois, intrinsecamente, os canais sem fio são mais suscetíveis a interceptores não desejados; e
- e) Problemas na definição da Qualidade de serviço que é provida, que ainda é menor que a das redes cabeadas, tendo como principais razões para isso a pequena banda passante devido às limitações da radiotransmissão e a alta taxa de erro acarretada pela suscetibilidade a interferências.

### 2.3 PADRÃO 802.11

Com o surgimento, no início da década de 1990, de diversas tecnologias proprietárias para WLANs, a Federal Communications Commission (FCC), órgão regulador dos EUA, solicitou ao IEEE que desenvolvesse um padrão que permitisse a fabricação de equipamentos capazes de interoperabilidade.

A partir desta demanda foi criado o grupo de trabalho IEEE 802.11, que é responsável pela família IEEE 802.11 de padrões, considerado atualmente o mais bem sucedido tipo de conexão sem fio nos padrões para as LANs sem fio.

O padrão foi finalizada em 1999 (IEEE 802.11 a/b) [IEEE 802.11] e mais tarde ampliada em 2003 (IEEE 802.11g). Isso define as subcamadas Physical (PHY) e Media Access Control (MAC) para os aparelhos usados em conexões WLAN. Inclui-se também um aparelho consagrado denominado ponto de acesso (Access Point - AP), aos quais os equipamentos e estações (Stations - STAs ) do usuário final em conformidade com os cartões de interface de rede 802.11 conectam-se para o acesso dos serviços de rede.

Um grupo de STAs controlados por um único AP é chamado de grupo de serviço básico (Basic Service Set - BSS). Um BSS independente (Independent

Basic Service Set - IBSS), também popularmente denominado como “rede ad hoc”, é uma rede independente na qual STAs podem comunicar-se diretamente sem APs. Um grupo de um ou mais BSS interligados por um sistema de distribuição (Distributed System - DS) forma um grupo de serviço ampliado (Extended Service Set - ESS), e pode ser considerado como um simples segmento de rede 802.11. O DS fornece mobilidade às estações através da conexão entre os APs, utilizando tanto soluções cabeadas, onde cada AP é interligado a um switch, quanto o meio wireless (este DS é chamado de configuração “Wireless Bridge”, porque permite que duas LANs sejam conectadas na camada de enlace) para formar o “backbone”. O padrão 802.11 podem ser comparados com o padrão IEEE 802.3 para redes Ethernet com fio. O escopo de suas entidades e protocolos é mostrado na Figura 2.

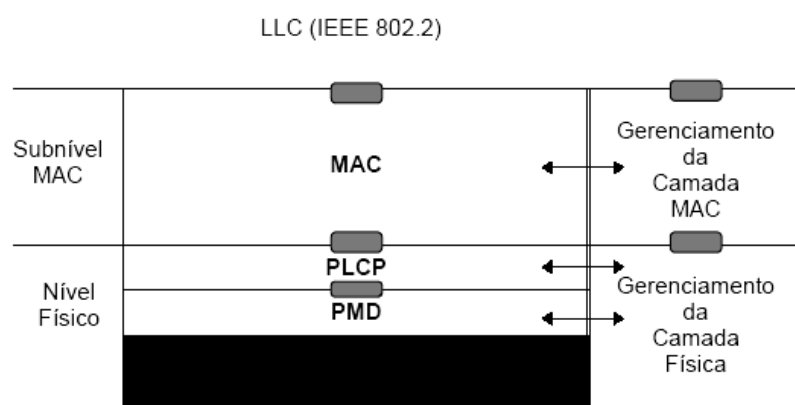


Figura 2 - Escopo das entidades e protocolos do padrão 802.11. Fonte: IEEE

### 2.3.1 Camada MAC

O padrão 802.11 define apenas a sub-camada MAC da camada de enlace, que oferece dois tipos de controle de acesso, um assíncrono e outro síncrono, livre de contenção.

Quando as estações se comunicam diretamente umas com as outras o controle é assíncrono e a coordenação da rede acontece de forma distribuída. O controle assíncrono é realizado por uma função de coordenação distribuída (Distributed Coordination Function - DCF).

A DCF utiliza a técnica Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA), na qual a estação que deseja transmitir ativa seu receptor para detectar a presença de portadora no meio antes de iniciar sua transmissão. Este método é semelhante ao Carrier Sense Multiple Access Control with Collision



Detection (CSMA/CD) utilizado nas redes Ethernet e também se baseia na detecção de portadoras, mas ao contrário deste, o CSMA/CA evita as colisões em lugar de detectá-las. Este método alternativo é utilizado porque os terminais do padrão 802.11 são half-duplex para reduzir seu custo e complexidade, não podendo transmitir e receber simultaneamente.

A detecção de portadora é feita de duas maneiras: utilizando o sinal de avaliação de canal livre (Clear Channel Assessment - CCA), cuja implementação é obrigatória, ou utilizando pacotes Request To Send/Clear To Send (RTS/CTS) que implementam um esquema de detecção de portadora virtual utilizando um vetor de alocação do meio (Network Allocation Vector - NAV), cuja implementação é opcional. Se o meio estiver livre e permanecer neste estado por um tempo maior do que um intervalo de tempo bem definido (Interframe Space), a estação pode transmitir. Caso contrário, a transmissão é adiada por um de intervalo de espera aleatório, uniformemente distribuído em uma janelas de contenção (Content Window - CW), limitada por valores CWmin e CWmax.

Quando as estações se comunicam através do uso de um AP e não diretamente, o controle é síncrono. O controle síncrono é fornecido pela função de coordenação pontual (Point Coordination Function - PCF) que, basicamente, implementa o polling como método de acesso. O modo PCF é uma função opcional construída sobre o modo DCF e implementada através de um mecanismo de acesso ordenado ao meio que proporciona a oportunidade de transmitir sem contenção. Utiliza um coordenador pontual, normalmente o AP, que acessa as estações ciclicamente e oferta a oportunidade de transmitir. O coordenador pontual divide o tempo de acesso em períodos de superquadros. Cada superquadro compreende um período livre de contenção (modo PCF) e um período com contenção (modo DCF).

O PCF controla quadros durante o período livre de contenção (Contention Free Period - CFP), que é seguido por um período de contenção, controlado pelo mecanismo DCF, anteriormente descrito. O controlador Point Coordination (PC) ganha o controle de CFP e tenta manter este controle pelo período inteiro, pois uma STA no modo PCF aguarda um tempo menor para transmitir seus pacotes do que estações utilizando DCF. Este intervalo de tempo, pouco menor que DIFS, porém maior que SIFS, é denominado de PCF Inter Frame Space (PIFS).

No início de cada CFP, o PC informa, após esperar um tempo PIFS, qual o tempo total de CFP e quando ocorrerá novamente, através de um pacote farol

(*beacon frame*). Todas as estações devem colocar como valor de NAV a duração total de CFP, a fim de evitar que alguma estação tome o controle do meio durante este período, como pode ser visto na figura a seguir. Após um intervalo de tempo SIFS, o PC pode enviar dados, requisitar que estações enviem dados, confirmar dados que recebeu, (empregando apenas um quadro MAC quando possuir mais de uma tarefa a ser realizada) ou acabar com o CFP. Durante CFP, somente estações que estiverem na lista de *polling* do PC podem transmitir, mas todas as estações podem receber dados. O PC pode terminar CFP a qualquer momento, mesmo que o tempo de duração informado no quadro *beacon* não tenha se esgotado, baseado no tráfego disponível e no tamanho de sua lista de *polling*.

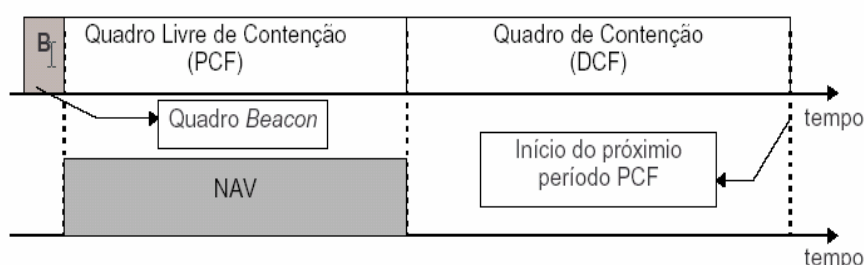


Figura 3 - Períodos do Quadro MAC. Fonte: IEEE

Todas as estações que estão na lista de *polling* e, portanto, que respondem a pedido de transmissão do PC, ignoram o mecanismo de detecção virtual de portadora (temporizador NAV), verificando apenas se o meio está livre após um intervalo SIFS. Estações fora da lista que recebem quadros de dados devem confirmá-los segundo as regras do procedimento DCF. Caso uma estações inserida na lista de *polling* não envie dados ou uma estação de fora da lista de *polling* não confirme dados recebidos, o PC assume o controle do meio após intervalo PIFS, como pode ser visto na figura a seguir. Caso uma estação na lista de *polling* não possua dados a serem enviados, deve retornar um pacote nulo (*null frame*), para o PC ter garantias que não houve problemas de transmissão (como interferência causada pela sobreposição de pacotes de transmissão).

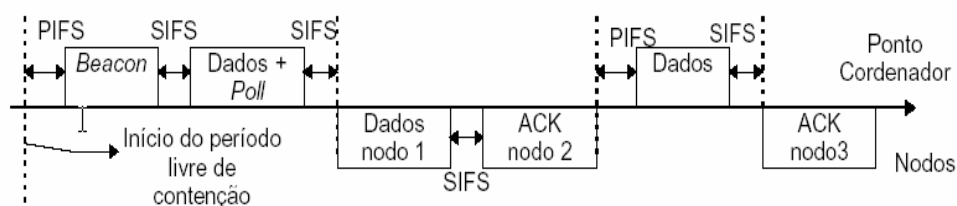


Figura 4 - Funcionamento do CFP. Fonte: IEEE

Uma estação define para a rede sem fio no início de suas atividades, se deseja ou não estar na lista de *polling*, podendo mudar seu estado em relação à lista mais tarde. O PC também interfere na constituição da lista, integrando ou descartando estações da lista pela observação de seu tráfego nos períodos com e sem contenção.

Por fim, observa-se que nem todas as estações reconhecem o modo de operação PCF. Neste caso, jamais integrarão a lista, e se receberem dados, deverão confirmá-los como no regime DCF. Supõe-se que jamais obterão o controle do canal pois, em nenhum momento, o canal deverá ficar livre por um tempo igual ou maior do que DIFS (na verdade, o tempo máximo em que o canal ficará livre deve ser igual a PIFS). As soluções adotadas para serviços com e sem contenção visam a atender principalmente requisitos de economia de energia e prioridade.

De fato, o mecanismo de detecção virtual da portadora possibilita que se desliguem os circuitos de transmissão e recepção até o temporizador NAV atingir zero, pois uma estação móvel não pode transmitir e nem receberá nenhum quadro durante este intervalo de tempo.

### 2.3.2 Camada Física

A camada física do padrão IEEE 802.11 inclui duas subcamadas:

#### a) Sub-camada Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)

Converte os dados da camada MAC em quadros adequados à transmissão. O padrão IEEE 802.11 emprega três tipos diferentes de quadros: quadros de gerenciamento, de controle e de dados.

O quadro de gerenciamento é utilizado para a associação e desassociação de uma estação ao AP, para a sincronização e para o processo de autenticação. O quadro de controle é utilizado para o estabelecimento da conexão

durante um CP, para um positive acknowledgment (ACK) durante um CP e para finalizar um CFP. O quadro de dados é utilizado para a transmissão de dados durante um CP ou um CFP e pode ser combinado com os quadros de polling e ACK durante o CFP. O campo Duration ID informa o tempo (em microsegundos) que o canal será alocado para a transmissão da unidade de dados do protocolo MAC (MAC protocol data unit - MPDU). As estações são endereçadas conforme o padrão de endereçamento MAC de 48 bits. O campo de payload de dados é de tamanho variável (de 0 a 2312 bytes). O campo Type indica o tipo do quadro (gerenciamento, controle ou dados). O algoritmo Cyclic Redundancy Check - 32 bits (CRC-32) é utilizado para detecção de erro.

#### **b) Sub-camada Physical Medium Dependent (PMD)**

Recebe os quadros da camada PLCP e é responsável pela modulação, demodulação, detecção de portadora, transmissão e recepção.

O padrão original IEEE 802.11, publicado em 1999 e permite taxas de transmissão de até 2 Mbps, operando na faixa restrita de 2,4 GHz, que dispensa licença junto à ANATEL, com potência máxima de 100 mW e utilizando espalhamento espectral por salto em frequência (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS) ou espalhamento espectral de frequência direta (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS). Além disto, especifica a operação na faixa de infravermelho, para aplicação exclusivamente em ambientes fechados, com transmissão pulsada de 4 ou 16 PPM, potência de 2 watts e taxa de 1,2 Mbps.

#### **2.3.3 IEEE 802.11b**

Também conhecido como Wireless Fidelity (Wi-Fi) o padrão 802.11b, estabelecido em setembro de 1999, foi o mais utilizado na comunicação sem fio. É especificado para operar na banda de 2,4 GHz, definida pela ANATEL como faixa restrita, que dispensa licença de utilização. Trabalha com espalhamento espectral por sequência direta (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS), permitindo atingir taxas de 11 Mbps com alcance típico em ambientes fechados de 50 a 100 metros, dependendo da quantidade de paredes e número de obstruções. O sistema opera com 11 canais superpostos de 22 MHz, indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Canalização do padrão IEEE 802.11b. Fonte: IEEE P802.11

Canal	Frequência central
1	2412 MHz
2	2417 MHz
3	2422 MHz
4	2427 MHz
5	2432 MHz
6	2437 MHz
7	2442 MHz
8	2447 MHz
9	2452 MHz
10	2457 MHz
11	2462 MHz

A potência máxima de transmissão dos equipamentos é, tipicamente, 100mW, embora haja excessões. O que é, de fato, limitado pela regulamentação, é a potência efetiva isotropicamente irradiada (Effective Isotropic Radiated Power - EIRP), dada pela potência do transmissor multiplicada pelo fator de ganho da antena. Nas Américas este limite é de 4 W sendo que, no Brasil, a ANATEL limitou a EIRP a 400 mW para cidades com mais de 500 mil habitantes.

Redes 802.11b utilizando os mesmos canais ou canais superpostos podem funcionar numa mesma região, pois o sistema possui algoritmos para evitar colisões. Os terminais de usuário escutam o canal aguardando por um período de silêncio para iniciar a transmissão. Se o terminal detecta que o canal está ocupado, aguarda por um período de tempo aleatório para fazer nova sondagem. Se o canal não fica desocupado por um período suficientemente longo, o terminal pode buscar outro canal ou outro ponto de acesso para comunicar-se.

Apesar deste mecanismo, redes que utilizam a mesma área devem utilizar, preferencialmente, canais não superpostos, como os canais 1, 6 e 11 para evitar a redução de vazão resultante da divisão da capacidade do sistema.

Inicialmente, o padrão IEEE 802.11b foi utilizado em pequenos escritórios, em hospitais, em depósitos e em áreas industriais. Sua utilização expandiu-se rapidamente para fornecer a conectividade em aeroportos, hotéis, salas de conferências, áreas de trabalho de empresas e qualquer outro ambiente em que seu uso está se mostrando mais conveniente em termos de custo, tempo e facilidade de instalação do que o emprego de redes cabeadas. Com a rápida redução dos preços

de equipamentos, resultante da utilização em maior escala em aplicações empresariais e da evolução tecnológica, a tecnologia passou, mais recentemente, a ter grande aceitação para o estabelecimento de redes domiciliares.

#### 2.3.4 IEEE 802.11a

Ao contrário do que a letra sugere, o 802.11a é um padrão mais recente que o 802.11b, pois embora ambos tenham sido propostos pelo IEEE na mesma época, o 802.11b foi finalizado antes e por isso chegou ao mercado com mais de seis meses de antecedência do 802.11a. Opera dentro da faixa restrita de 5GHz, que não necessita de licença junto a ANATEL, sendo menos congestionada do que a banda de 2,4 GHz e permitindo taxas de transmissão de até 54 Mbps em canais de 20 MHz utilizando modulação OFDM. Além disto, oferece um total de 12 canais sem superposição, 8 para utilização em ambientes fechados (indoor) e 4 para utilização em ambientes abertos (outdoor). A canalização do sistema é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Canalização do padrão IEEE 802.11a para uso no Brasil.  
Fonte: IEEE P802.11

Canal	Frequência central	Uso
36	5180 MHz	Indoor
40	5200 MHz	Indoor
44	5220 MHz	Indoor
48	5240 MHz	Indoor
52	5260 MHz	Indoor e outdoor
56	5280 MHz	Indoor e outdoor
60	5300 MHz	Indoor e outdoor
64	5320 MHz	Indoor e outdoor

A potência máxima é especificada em 50mW para produtos que operam na faixa de 5,15 a 5,25 GHz, 250mW para produtos que operam de 5,25 a 5,35 GHz e de 800mW para produtos operando entre 5,725 e 5,82-GHz. O limite regulamentado de EIRP nas Américas é de 160 mW para os canais 36 a 48 e de 800 mW para os canais 52 a 64.

A certificação da Wi-Fi Alliance para o padrão 802.11a é denominada Wi-Fi5. Apesar das vantagens que apresenta pela maior velocidade, maior capacidade e operação em uma banda de frequências menos congestionada, sua penetração foi muito menor do que a do padrão 802.11b. Isto se deve ao fato de que os

transmissores 802.11a, por utilizarem uma frequência mais alta, possuem um alcance mais curto, teoricamente metade do alcance dos transmissores 802.11b, tornando necessário usar mais pontos de acesso para cobrir a mesma área, contribuindo para aumentar ainda mais os custos de sua implementação.

### **2.3.5 IEEE 802.11g**

O padrão IEEE 802.11g foi também emitido em 2002 e ratificado em junho de 2003, quatro anos após o lançamento e amadurecimento dos primeiros protocolos. Opera na faixa de 2,4 GHz, com taxa máxima de 54 Mbps, utilizando tanto as técnicas OFDM como DSSS, aliando as vantagens de maior cobertura do 802.11b e maior taxa de cobertura do 802.11a.

Utiliza a mesma canalização do 802.11b, sendo totalmente compatível (interoperável) com este padrão, ou seja, terminais de usuário 802.11b podem operar em redes servidas por pontos de acesso 802.11g, e vice-versa. Entretanto, é preciso considerar que a presença de usuários 802.11b reduz significativamente a taxa de transmissão total de redes 802.11g.

Muitos usuários do padrão 802.11b migraram rapidamente para o 802.11g mesmo antes da ratificação, embora grandes corporações e fabricantes tenham se mostrado um pouco mais cautelosos. A partir da ratificação, começaram a aparecer produtos capazes de operar com os três padrões a, b e g (produtos dual-mode/tri-band), permitindo a conexão de terminais de usuário com qualquer tipo de ponto de acesso.

Embora este padrão permita atingir taxas equivalentes à do 802.11a, na prática o desempenho obtido é apenas um pouco superior ao das redes 802.11b. Isto se deve à canalização com apenas 3 canais sem superposição e ao fato de que as modulações com maior número de níveis só podem ser utilizadas quando a interferência é baixa e as condições de propagação muito favoráveis. Alguns fabricantes desenvolveram uma versão proprietária denominada SuperG, que atinge taxas de 108 Mbps, utilizando channel bonding, ou seja, a recepção combinada de mais de um canal no mesmo terminal. A Tabela 3 apresenta uma comparação entre as principais características dos padrões de interface aérea IEEE 802.11.

Tabela 3 - Características dos padrões de interface aérea IEEE 802.11.  
Fonte: IEEE P802.11

Padrão	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Publicação	Julho/1997	Setembro/1999	Setembro/1999	Julho/2003
Banda total	83,5 MHz	300 MHz	83,5 MHz	83,5 MHz
Banda de frequências	2,4-2,4835 GHz	5,15-5,35 GHz 5,725-5,825 GHz	2,4-2,4835 GHz	2,4- 2,4835GHz
Técnica de acesso	DSSS, FHSS	OFDM	DSSS	DSSS, OFDM
Taxa de transmissão	1 a 2 Mbps	6 a 54 Mbps	1 a 11 Mbps	1 a 54 Mbps
Alcance Médio (m)	50	80	100	150

### 2.3.6 Evolução do Padrão

Apesar do estabelecimento do padrão, a existência de diferentes tecnologias de transmissão criava problemas de interoperabilidade dos dispositivos e vinha provocando a insatisfação de fornecedores e clientes. Em 1997 a Lucent, a 3Com, a Aironet (atualmente Cisco), a Intersil, a Nokia e a Symbol uniram-se e, para garantir a interoperabilidade entre produtos padrão IEEE 802.11 formaram a Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA) <sup>14</sup>.

A ratificação da segunda geração do padrão IEEE 802.11, o 802.11b, também chamado de 802.11 high rate (HR), foi concretizada em setembro de 1999. A WECA já incluía, além dos já tradicionais fornecedores de WLAN, outros mais novos na área, mas não menos importantes no mercado das telecomunicações, como a Ericsson, a Siemens e a Compaq. A WECA começou a testar e certificar os equipamentos de seus associados, com o selo Wireless Fidelity e surgiu o acrônimo Wi-Fi. A WECA, posteriormente, mudou seu nome para Wi-Fi Alliance.

Desde então, diversos grupos tarefa produziram e continuam produzindo complementos e melhorias do padrão no âmbito do grupo 802.11 visando atender a demanda crescente por serviços multimídia, maiores taxas de transmissão,

<sup>14</sup> A WECA é uma organização sem fins lucrativos, cujo lançamento oficial e público ocorreu em 23 de agosto de 1999, em Santa Clara, na CA (EUA), com a missão de certificar produtos WLAN e garantir a interoperabilidade dos equipamentos.



mobilidade e por serviços multi-usuários em redes de computadores. A evolução do padrão é mostrada na Figura 5.

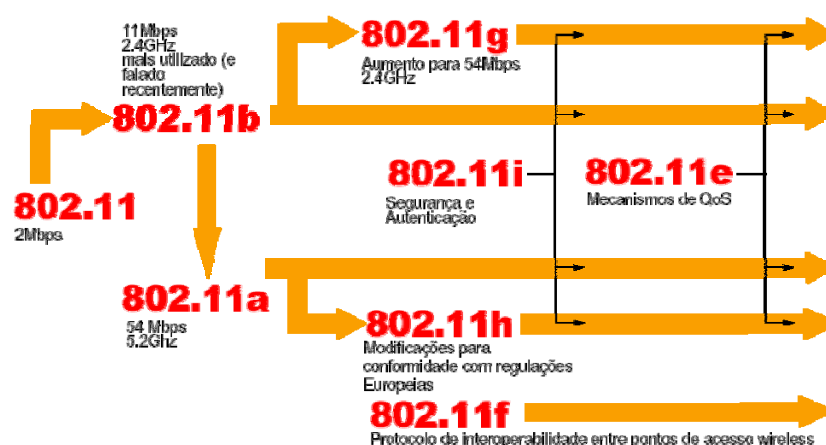


Figura 5 - Evolução da família de protocolos 802.11

Dentro desta família de protocolos, existem 3 que se destacam. A Tabela 4 apresenta um resumo comparativo destas tecnologias.

Tabela 4 - Padrões 802.11 a, b e g, e suas principais características.

Padrão	Taxa de bits	Alcance	Compatibilidade	Custo
802.11a	até 54 Mbit/s (na banda de 5 GHz)	25 a 100 metros (indoor)	Incompatível com o 802.11b e 802.11g	Alto
802.11b	até 11 Mbit/s (na banda de 2,4GHz)	100 a 150 metros (indoor)	Adoção generalizada.	O mais baixo
802.11g	até 54 Mbit/s (na banda de 2,4GHz)	100 a 150 metros (indoor)	Compatibilidade com o 802.11b a 11Mbit/s. Incompatível com 802.11a	Baixo

O uso intensivo dos padrões 802.11 a, b e g tem permitido ao mercado identificar novas necessidades, principalmente no que diz respeito a buscar maiores taxas de transmissão e ampliação das áreas de cobertura das células Wi-Fi, que são limitadas a baixa potência dos APs. O IEEE, apoiado nesta afirmações, está patrocinando a especificação de dois novos padrões: o 802.11n, que tem por objetivo permitir taxas de transmissão de até 100 Mbps e o 802.11s, que busca através da aplicação da tecnologia Mesh ampliar as áreas de cobertura das células Wi-Fi dos atuais “hot spots” para “hot zones”.

Os demais padrões da família 802.11 são suplementos, alguns dos quais são considerados opcionais pelo IEEE e podem não ser adotados por toda a indústria.

#### 2.3.6.1 Draft 802.11n

Este grupo tarefa foi formado em Janeiro de 2004, em resposta à demanda cada vez maior do mercado por redes de área local sem fio (WLAN) com a finalidade desenvolver um padrão capaz de fornecer taxas reais de pelo menos 100 Mbps, com alcances ainda superiores aos dos padrões atuais.

O escopo de trabalho do TGn é definir modificações nas camadas PHY e MAC que ofereçam uma vazão (*throughput*) mínima de 100 Mbps no Ponto de Acesso do Serviço (Service Access Point – SAP) da sub-camada MAC com suporte para todas as principais plataformas, incluindo equipamentos eletrônicos, tecnologia pessoal e plataformas portáteis e nos principais ambientes de hot-spots empresariais, residenciais e públicos.

Isto deve ser conseguido pelo uso de técnicas de múltiplas entradas e múltiplas saídas (Multiple-input Multiple-output - MIMO) que permitem o aumento da taxa de transmissão através de multiplexação espacial e da cobertura pela diversidade de antenas.

A MIMO pode trazer vários benefícios, todos oriundos da possibilidade de processar simultaneamente diferentes sinais no espaço. Dois benefícios importantes explorados aqui são a diversidade de antenas e a multiplexação espacial. Ao usar várias antenas, a tecnologia MIMO permite resolver com coerência as informações procedentes de diversos percursos de sinal por meio de antenas receptoras separadas no espaço. Sinais de vias múltiplas são sinais refletidos que alcançam o receptor algum tempo após o recebimento do sinal original ou sinal da linha de visão (Line of Sight - LOS).

Geralmente, os múltiplos percursos são percebidos como uma interferência que prejudica a possibilidade de um receptor recuperar a informação inteligente. A tecnologia MIMO permite resolver, conforme o espaço, os sinais de múltiplas vias, propiciando um ganho de diversidade que aumenta a possibilidade de um receptor recuperar a informação inteligente.

A exigência de vazão mínima representa um salto de aproximadamente o quádruplo do desempenho da throughput da WLAN, quando comparado às redes

atuais do padrão 802.11a/g. O objetivo do TGn nessa próxima etapa do desempenho da WLAN é aprimorar a experiência do usuário com os atuais aplicativos de WLAN e ainda habilitar novos aplicativos e segmentos do mercado, permitindo uma transição suave da adoção, exigindo a compatibilidade com versões anteriores nas soluções da tecnologia prévia existente da WLAN do IEEE (802.11a/b/g).

#### 2.3.6.2 Draft 802.11s

O grupo de trabalho 802.11 do IEEE vem realizando pesquisas desde maio de 2004 com redes em malha, no grupo de trabalho identificado como TGs, a fim de produzir o padrão 802.11s. O principal objetivo do TGs é investigar e projetar as redes em malha com o intuito de permitir que diferentes dispositivos WLAN realizem roteamento na camada de enlace.

O TGs está trabalhando na apresentação e seleção de diferentes propostas, com o propósito de ter uma solução fechada em meados de 2007 e que o padrão venha a ser aprovado em Março de 2008.

Especificamente, o TGs 802.11 [IEEE 802.11s, 2006] define um “Extended Service Set” (ESS) em malha (denominado como rede em malha) como uma coleção de dispositivos WLAN interligados com conexões sem fio que permitem um conhecimento de topologia automático e configuração dinâmica. As redes em malha 802.11 serão baseadas em extensões do padrão MAC IEEE 802.11, tendo como definição uma arquitetura de rede em malha e a inclusão de um conjunto de novos protocolos para sua instalação, configuração e operação.

A arquitetura irá fornecer um Sistema de Distribuição sem fio IEEE 802.11 (Wireless Distributed System - WDS) que suporte transmissão “broadcast/multicast” e “unicast” na camada MAC utilizando-se de métricas baseadas em rádio sobre topologias de múltiplos saltos auto-configuradas, possibilitando fornecer um serviço que seja equivalente a um Sistema de Distribuição cabeado. Desta forma a implementação do protocolo de roteamento e a seleção de melhor caminho em uma rede Mesh será definida na camada MAC ao contrário da camada de rede, possibilitando uma melhor eficiência no roteamento do tráfego em uma topologia de rede sem fio em malha com múltiplos saltos.

### 2.3.6.3 Extensões e suplementos da família IEEE 802.11

Como já mencionado, além dos padrões apresentados anteriormente, a família IEEE 802.11 inclui novas propostas e um conjunto de extensões e suplementos não obrigatórios, mas que podem ser adotados pelos fabricantes, dependendo da destinação, uso e qualidade desejados para o equipamento:

- **IEEE 802.11e:** O Task Group 802.11e é responsável por desenvolver os mecanismos de qualidade de serviço (Quality of Service - QoS) para WLANs. A camada MAC do padrão 802.11e emprega o sistema de Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (Time Division Multiple Access – TDMA) e inclui mecanismos de controle de erro para aplicações sensíveis a retardo, como voz sobre IP e multimídia. Como o padrão atua no nível MAC, ele é comum para todos níveis físicos do 802.11, e compatível, em termos de comunicação, com as redes WLANs 802.11 existentes.

- **IEEE 802.11f:** Especifica o protocolo que permite o roaming entre APs de diferentes fabricantes, denominado Inter-Access Point Protocol (IAPP). Descreve os serviços dos access points (SAP), as primitivas, o conjunto de funções e os protocolos que deverão ser adotados por diferentes fornecedores para operarem em rede.

- **IEEE 802.11i:** O padrão 802.11i, ratificado em junho de 2004, fornece melhorias de segurança para redes Wi-Fi através de novos protocolos de cifragem denominados Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) e Advanced Encryption Standard (AES). O AES requer um chip dedicado, de modo que a adoção do padrão 802.11i em redes existentes requer modificações no hardware.

- **IEEE 802.11k:** Proposta que estabelece regras para seleção de canais, roaming e controle de potência de transmissão, de modo a maximizar a taxa de transmissão da rede como um todo. É o principal padrão da indústria que está agora em desenvolvimento e permitirá transições transparentes do Conjunto Básico de Serviços (BSS) no ambiente WLAN.

Além destes, existem outros grupos tarefa que tratam de questões novas ou específicas, como indicado na Tabela 5.

Tabela 5 - Outros grupos tarefa do IEEE 802.11

Task Group	Assunto
IEEE 802.11p	Wireless Access for the Vehicular Environment (WAVE)
IEEE 802.11r	Fast roaming
IEEE 802.11t	Wireless Performance Prediction (WPP)
IEEE 802.11u	Interworking with non-802 networks
IEEE 802.11v	Wireless network management

### 2.3.7 Topologias de rede

A arquitetura adotada pelo grupo de trabalho 802.11 consiste em vários componentes, conforme apresentado na Figura 6, que interagem para prover uma rede local sem fio com suporte a mobilidade de estações de modo transparente para as camadas superiores. Baseia-se na divisão da área coberta pela rede em células (denominadas Basic Service Area - BSA) ou áreas do serviço básico. O tamanho da BSA (célula) depende das características do ambiente e da potência dos transmissores/receptores utilizados nas estações móveis.

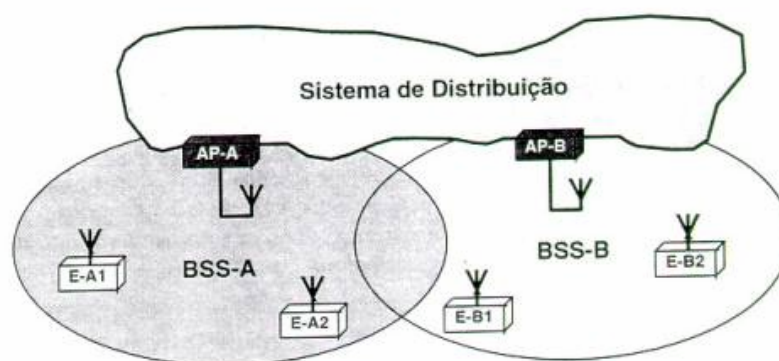


Figura 6 - União de duas BSS formando uma ESS. Fonte: Soares95, Pag 271

Para permitir a construção de redes cobrindo áreas maiores do que uma célula, múltiplas BSAs podem ser interligadas por meio de um sistema de distribuição (Distribution System – DS) com ou sem fio, via pontos de acesso, ou APs. Os pontos são estações especiais responsáveis pela captura das transmissões realizadas pelas estações de sua BSA, destinadas a estações localizadas em outras BSAs, retransmitindo-as utilizando o sistema de distribuição.

Os BSAs interligados por um DS, por meio dos APs, definem uma área de serviço estendido (Extended Service Area – ESA). Os usuários desta rede são denominados de estações (Stations – STA). O conjunto de STAs formado pelos

vários BSSs, interligados por um DS, define um conjunto de serviços expandido (Extended Service Set – ESS), que o identifica. Dentro de um ESS, cada BSS é também identificado com um BSS-ID. Estes dois identificadores formam o identificador da rede (Network-ID) sem fio IEEE 802.11.

Um ESS formado pela conexão de múltiplos BSSs constitui uma rede local sem fio com infra-estrutura, que consiste nas estações especiais denominadas APs. O DS, além de interligar os vários APs fornece os recursos necessários para interligar a rede sem fio a outras redes.

### **2.3.8 Modos de Operação**

Apesar dos elementos que fazem parte da arquitetura sem fio possibilitar a construção de uma rede abrangendo áreas maiores do que um ambiente local, o projeto do IEEE 802.11 limita o padrão a redes locais com ou sem infra-estrutura.

Em uma Rede sem fio infra-estruturada é necessário a interconexão de múltiplos BSSs, formando um ESS. Neste caso, a infra-estrutura é representada pelos APs, e pelo DS que interliga esses APs. O DS, além de interligar os vários APs, pode fornecer os recursos necessários para interligar a rede sem fio a outras redes, utilizando um sistema de comunicação cabeada. Possui o inconveniente de consumir o dobro da banda, mas um dos grandes benefícios é o armazenamento dos dados enquanto as estações estão em modo de economia de energia (Power Save).

O AP provê conectividade entre as estações e a rede cabeada e fornece também funcionalidade de bridge quando uma estação inicia a comunicação com outra estação ou com um nó do DS.

Já nas Redes WLAN sem Infra-estrutura, também conhecida como redes ad hoc ou IBSS, a estação móvel não necessita de um controle centralizado e nem de um equipamento específico que a interligue a um backbone.

Em ambos os modos de operação, um Service Set Identifier (SSID), também conhecido como “Nome da rede sem fio”, identifica a rede sem fio. O SSID é um parâmetro configurado no AP, para o modo infra-estruturado ou para um cliente sem fio em ambos os modos. O SSID é periodicamente anunciado pelo AP ou pela estação usando um quadro MAC 802.11 conhecido como beacon frame – quadro de anúncio. Entretanto algumas implementações de segurança recomendam a não divulgação do SSID em redes privadas e com acesso restrito.

A figura 7 apresenta de forma esquemática os componentes de uma ESS e de uma IBSS.

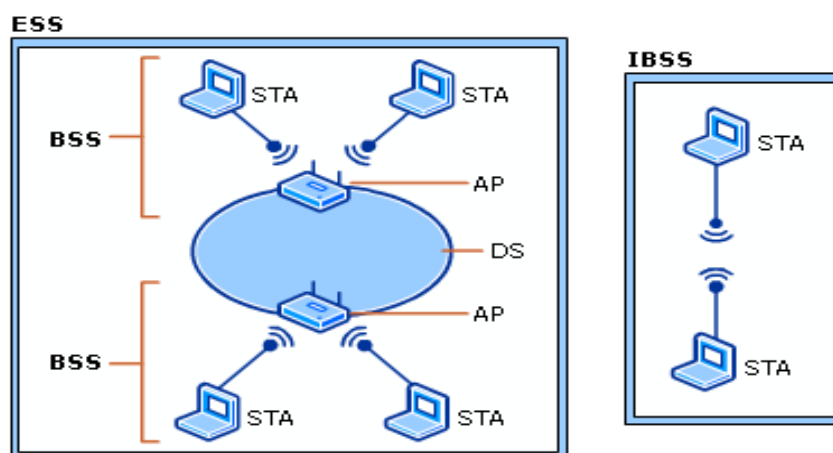


Figura 7 - Arquitetura Lógica de uma rede 802.11  
Fonte: Adaptado de Junior06, Pag 22 e 23

Um elemento fundamental na arquitetura de rede local sem fio com infraestrutura é o ponto de acesso, que desempenha as seguintes funções:

a) autenticação, associação e reassociação: permite que uma estação móvel mesmo saindo de sua célula de origem continue conectada à infraestrutura e não perca a comunicação. A função que permite manter a continuidade da comunicação quando um usuário passa de uma célula para outra, é conhecida como handoff .

b) gerenciamento de potência: permite que as estações operem economizando energia, através de um modo chamado de power save.

c) Sincronização: garante que as estações associadas a um AP estejam sincronizadas por um relógio comum.

#### 2.3.8.1 Rede Infra-estruturada

A estação primeiramente identifica a rede sem fio e os AP's disponíveis dentro da sua área de cobertura. Isso é feito através da monitoração dos quadros "anúncio" vindos dos AP's, que anunciam cada um deles na rede sem fio, ou também através da sondagem (*probe*) de uma rede sem fio particular através do uso de *probe frames* – quadros de sondagem.

A estação então escolhe uma rede das disponíveis e inicia o processo de autenticação com o AP. Uma vez que a estação e o AP se autenticaram o processo de associação é iniciado.

O processo de associação permite que o AP e a estação troquem informações e funcionalidades. O AP pode usar essa informação e compartilhar com outros AP's na rede para disseminar conhecimento da localização atual da estação na rede. Somente após a associação ser completada a estação pode transmitir e receber dados da rede. No modo infra-estrutura, todo o tráfego das estações tem que passar pelo AP para alcançar o destino que pode ser uma estação na rede sem fio ou na rede cabeada.

O acesso à rede é gerenciado usando-se o protocolo CSMA/CA. As estações irão “ouvir”, ou seja, monitorar a rede por um período de tempo específico para verificar se há transmissão de dados de outras estações antes de tentar efetuar a transmissão dos seus dados. Isso identifica a parte referente à detecção de portadora (*carrier sense*) do protocolo CSMA/CA.

A estação deve então esperar um período de tempo predefinido para que a rede fique “disponível” antes de iniciar a transmissão. Esse *delay*, mais o recebimento pela estação transmissora de um ACK, indicando uma recepção com sucesso, forma a parte referente à *collision avoidance* (evitar colisão) do protocolo CSMA/CA.

Nota-se que no modo infra-estrutura, o AP é sempre o receptor e o transmissor. Devido a algumas estações não serem capazes de detectar/“ouvir” cada uma das outras, ambas estando no alcance do AP, cuidados especiais devem ser tomados para evitar colisões. Isso inclui um tipo de reconhecimento (*reservation exchange*) que pode ocorrer antes de um pacote de dados ser transmitido.

#### 2.3.8.2 Rede Ad Hoc

Ao contrário das redes sem fio com infra-estrutura, onde cada usuário se comunica diretamente com um ponto de acesso ou estação base, uma rede ad hoc móvel (MANET) não se baseia numa infra-estrutura fixa para sua operação. Sua topologia não é predeterminada, não há a presença de um controle centralizado e os clientes sem fio comunicam-se diretamente uns com os outros.

Segundo Ramanathan (2002), uma rede ad hoc (possivelmente móvel) é um conjunto de dispositivos de rede que pretendem se comunicar, mas que não



possuem infra-estrutura fixa disponível e não possuem organização pré-determinada de links de comunicação disponíveis. Os nós individuais da rede são responsáveis por descoberta dinâmica de quais são os outros nós que podem se comunicar diretamente a ele, ou seja, de quais são seus vizinhos (formando uma rede multi-hop).

Desta forma a rede é uma associação transitória autônoma de nós móveis que se comunicam entre si por enlaces sem fio. Estes clientes sem fio trabalhando em modo *ad-hoc* formam um IBSS. Um dos clientes, o primeiro cliente na IBSS, tem certas responsabilidades como se fosse um AP e consiste em organizar e controlar a rede.

Essas responsabilidades incluem o processo de anúncio da rede e a autenticação de novos membros dessa rede. Esse cliente atua como uma ponte (*bridge*) para permitir a troca de informações entre os clientes. Os clientes dessa rede devem ser explicitamente configurados para trabalhar em modo *ad hoc*. Pode-se ter um número máximo de membros em uma rede sem fio do tipo *ad hoc*.

Os nós que ficam dentro das respectivas áreas de cobertura podem se comunicar diretamente e são responsáveis pela detecção dinâmica uns dos outros. Para que haja comunicação entre nós que não estejam diretamente dentro da área de cobertura dos dispositivos, nós intermediários agem como roteadores que enviam pacotes gerados por outros nós para o seu destino.

Esses nós são, em geral, dispositivos que sofrem de limitação de energia por estarem ligados a bateria. Além disso, os dispositivos são livres para se conectar e sair da rede e podem se mover aleatoriamente, possivelmente resultando em mudanças de topologia rápidas e imprevisíveis. Nesse ambiente de restrição de energia, dinâmico, de múltiplos saltos distribuídos, os nós precisam se organizar dinamicamente para fornecer a funcionalidade de rede necessária, na ausência de infra-estrutura fixa ou administração central.

As características e complexidades específicas, resumidas na Tabela 6, impõem muitos desafios aos protocolos das redes *ad hoc*.

Tabela 6 – Características e complexidades das redes móveis ad hoc  
 Fonte: [Ramanathan, 2002]

<b>Características e complexidades</b>
Autonomia e independência de infra-estrutura
Roteamento de múltiplos saltos
Topologia dinâmica de rede
Heterogeneidade de dispositivo
Operação limitada de energia
Enlaces de capacidade variável limitados por largura de banda
Segurança física limitada
Escalabilidade de rede
Autocriação, auto-organização e auto-administração

Como as redes ad hoc são caracterizadas por uma topologia de rede de múltiplos saltos que pode mudar frequentemente devido à mobilidade, são necessários protocolos de roteamento eficientes para estabelecer rotas de comunicação entre os nós, sem causar overhead excessivo de tráfego de controle ou carga de processamento sobre os dispositivos com limitação de energia.

As características das redes ad hoc móveis apresentadas impõem constantes desafios ao seu desenvolvimento. Apesar disso o estudo destas redes vem crescendo ao longo dos anos, por apresentarem as seguintes vantagens:

- São adequadas para o uso em situações em que não há disponibilidade de infra-estrutura fixa, ou que esta não seja confiável ou ainda em situações de emergência. Albuquerque (2006) cita as aplicações das redes ad hoc como sendo: computação móvel em áreas remotas, emprego militar, comunicações táticas, busca e salvamento em situações de desastre, redes temporárias em salas de reuniões, aeroportos, entre outros;
- Podem ser rapidamente instaladas, já que possuem as capacidades de autocriação, auto-organização e auto-administração, com um mínimo de intervenção do usuário. Não há necessidade de qualquer planejamento detalhado de instalação e cabeamento da estação base; e
- Por não precisarem operar de forma standalone, podendo ser ligadas à Internet, permitindo a integração de muitos dispositivos e tornando seus serviços disponíveis para outros usuários.

## 2.4 INTRODUÇÃO ÀS REDES SEM FIO EM MALHA

Redes em malha sem fio ou WMesh são casos especiais de redes ad hoc. Nas WLANs tradicionais, os clientes acessam a rede através de um enlace sem fio direto com um AP, ou sejam, são consideradas de único salto. Ao contrário das WLANs convencionais as WMesh são baseadas numa arquitetura sem fio distribuída, caracterizada por uma rede de múltiplos saltos, onde qualquer dispositivo com um enlace rádio pode servir como um roteador ou AP. Se um AP próximo estiver congestionado, dados poderão ser roteados por nós que estiverem com baixo tráfego. Assim os dados são transferidos de um nó para outro até alcançar o destino final.

As WMesh (também chamadas de rede de “multi-hop” ou múltiplos saltos) são caracterizadas por suas arquiteturas flexíveis devido a sua eficiência na transmissão de dados entre dispositivos. São redes que oferecem maior confiança, estendem a área de cobertura e reduzem o custo de equipamentos e infra-estrutura sobre as redes tradicionais, denominadas “simple-hop” ou salto único [Conner e Gryder, 2003]

Tecnologias que permitem o estabelecimento de uma rede utilizando equipamentos com função de roteador/repetidor, são cobertas pela denominação WMesh. Dentre os equipamentos que podem ter a função de roteador ou repetidor, podemos citar os microcomputadores, notebooks, aparelhos celulares e PDA's [Teixeira, 2004].

Segundo Lee, Zheng e Ko( 2006) e Akyildiz e Wang (2005), nas WMesh, os nós da rede incluem a função de roteadores Mesh e clientes Mesh. Cada nó opera não somente como um “host” mas também como um roteador, encaminhando os pacotes oriundos de outros nós que não estão diretamente conectados dentro da área de cobertura do nó destino.

Como em uma WMesh cada nó automaticamente estabelece e mantém a conectividade Mesh e tem sua própria capacidade de roteamento. A escalabilidade da rede torna-se (em teoria) infinita, explorando, em toda a extensão, o paradigma da comunicação ponto-a-ponto. Ao transformar cada nó e terminal da rede em um roteador, cria-se uma topologia na qual “quanto mais usuários/nós, maior a capacidade de roteamento da rede”. Assim, rompe-se a limitação ao crescimento imposta pelas topologias tradicionais.

A principal vantagem propiciada por estas redes é a facilidade de ampliação de sua cobertura, possibilitando estender as áreas de cobertura das WLANs atuais de “hotspots” para “hotzones”, como apresentado na Figura 8, com facilidade e baixo custo de projeto e implementação. Tal fato se deve à interconexão sem fio entre os APs, que dispensa a agregação de tráfego cabeado (conhecida como backhaul<sup>15</sup>) presente nas atuais redes Wi-Fi, proporcionando ao mesmo tempo benefícios adicionais como roteamento dinâmico e balanceamento de carga automático.

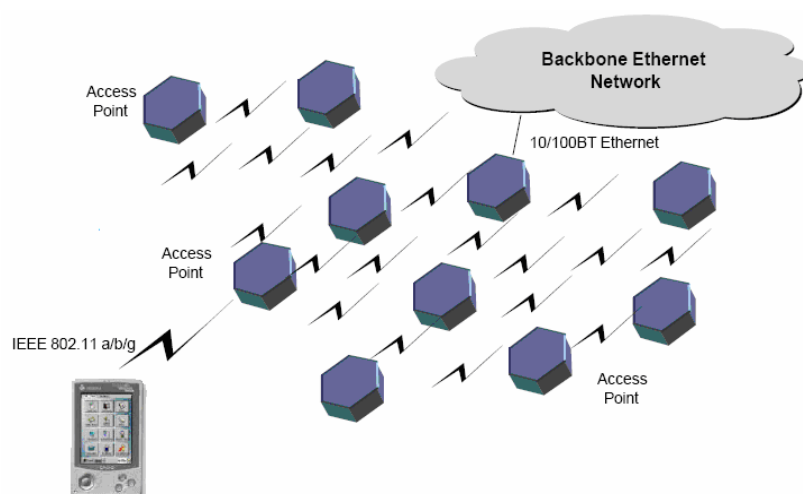


Figura 8 – A interligação de uma Rede Mesh.  
Fonte: [Nortel Networks, 2004]

Outra vantagem importante de ser citada é a resiliência<sup>16</sup> em nós da rede, garantida pela topologia em malha. Conceitualmente, cada nó se interliga a todos os outros, de forma a garantir uma rota alternativa em uma eventual falha, permitindo que a rede automaticamente encaminhe mensagens por outro caminho, como apresentado na Figura 9. Essa capacidade de comunicação por múltiplos nós possibilita o tráfego com rotas alternativas para evitar os pontos de congestionamentos e os obstáculos de linha de visada, aprimorando ao mesmo tempo o desempenho à medida que os clientes entram na rede. Mobilidade também surge como fator diferencial, garantida pela utilização de técnicas de roaming<sup>17</sup> que

<sup>15</sup> O termo backhaul é empregado para identificar as conexões que interconectam as redes de comunicação de dados entre si, podendo utilizar as tecnologias cabeadas ou sem fio. Em redes de tecnologia sem fio, o backhaul é utilizado para encaminhar os dados transmitidos dentro de uma célula wi-fi para o núcleo da rede.

<sup>16</sup> Nas redes Mesh a resiliência pode ser verificada pela capacidade da rede em resistir à remoção de um de seus vértices sem a perda de sua funcionalidade.

<sup>17</sup> Roaming é um conceito utilizado em comunicações sem fio que está relacionado a capacidade de um equipamento mover-se de uma área de cobertura para outra.

possibilitam a manutenção da conectividade ininterrupta mesmo com o usuário em trânsito.

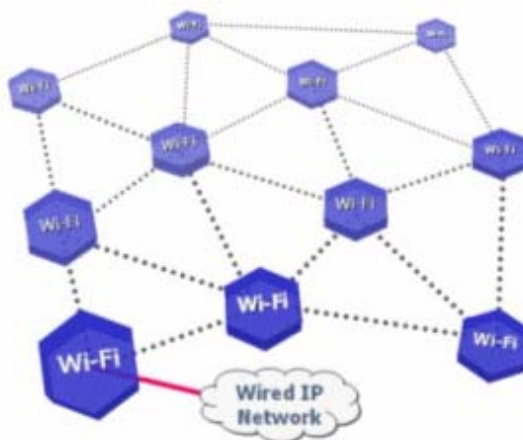


Figura 9 – Topologia de Rede Mesh. Fonte: Adaptado de [Teixeira, 2004]

O trabalho em WMesh surgiu da constatação de que as redes sem fios poderiam ser aproveitadas para reduzir o custo da “última milha”<sup>18</sup> no acesso à Internet. Através da colaboração entre os nós, um link com a rede fixa poderia ser compartilhado, permitindo um uso mais eficiente da banda, evitando o custo da passagem de fios até os usuários finais e beneficiando-se da economia de escala.

Uma outra motivação ao uso das WMesh é o acesso em locais onde é difícil ou impossível a construção de uma rede cabeada. Estes locais incluem regiões pobres e sem infra-estrutura, ambientes hostis a redes sem fios centralizadas (com muitas barreiras e interferência) e locais onde haja restrição para a instalação de redes com fio (construções históricas, por exemplo).

Levando em consideração as principais características das redes WMesh apresentadas ao longo desta seção, pode-se afirmar que a tecnologia WMesh trará novas possibilidades e ampliará um mercado crescente num futuro próximo, mesmo que haja a necessidade de consideráveis pesquisas futuras.

<sup>18</sup> A “Última milha” é um termo utilizado para representar as tecnologias empregadas pelos provedores de serviço no acesso do usuário final à rede de comunicação de dados.

### 2.4.1 Histórico

Apesar da tecnologia de WMesh estar atraindo a atenção da indústria apenas nos últimos anos, sua origem remonta ao trabalho de Paul Baran [Toh, 2002] no início dos anos 1960. Ele concebeu uma rede com enlaces utilizando microondas com topologia ponto-a-ponto.

Suas idéias foram implementadas na rede ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network , agência do Departamento de Defesa do EUA), dando origem a muitos dos algoritmos de roteamento utilizados na Internet atual. Nos anos de 1970 e 1980 a PRNET (Packet Radio Network) da DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Agência de Projetos de Pesquisa Avançados de Defesa Americana) criou muitas das técnicas usadas em redes em malha sem fios.

O trabalho feito em redes móveis Ad Hoc (MANETs) estabeleceu protocolos dos quais derivam os utilizados em redes em malha sem fios. Os principais deles são DSR (Dynamic Source Routing), DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector routing) e AODV (Ad Hoc on Demand Distance Vector).

A DARPA como órgão de Projetos e Pesquisa das forças armadas norte-americanas, começou a estudar a tecnologia Mesh em meados da década de 90 para comunicação no campo de batalha. Logo depois, empresas de pesquisa e desenvolvimento como a SRI International começaram a se voltar para redes Wireless Mesh e agora muitas empresas iniciantes, como por exemplo, a Tropos Networks, BelAir Networks e SkyPilot estão afirmando que a tecnologia as ajudará a transformar o cenário do mundo sem fio.

### 2.4.2 Aplicações das redes WMesh

A análise dos conceitos e características das redes WMesh permite perceber que as possibilidades de implementação das WMesh são infinitas. Mesmo sem operarem com o máximo do seu potencial, o desempenho destas redes já é considerado aceitável. A tendência natural é que, com o avanço das pesquisas, o número de aplicações bem como o número de usuários cresçam cada vez mais.

Esta seção apresenta algumas das principais aplicações das redes WMesh:

#### **a) Banda larga residencial e empresarial**

As WMesh podem ser usadas para prover acesso à internet em banda larga para usuários de uma certa área residencial ou corporativa de um modo geral, em salas de conferência, salas de reuniões e bibliotecas.

Para o funcionamento desta aplicação o backbone da rede será formado por roteadores sem fio. Será necessário pelo menos um gateway, que servirá como interface entre a WMesh e a internet.

#### **b) Segurança pública**

Algumas cidades dos Estados Unidos já estão utilizando sistemas de segurança pública, suportadas pelas WMeshs. Os sistemas de câmeras sem fio para monitoramento de áreas estratégicas da cidade são mais robustos do que os tradicionais. Não há fios que conectam as câmeras ao servidor central, o que torna essa aplicação menos sensível à ação de vândalos. Há, ainda, a possibilidade de se realizar um armazenamento das imagens remotamente, o que aumenta ainda mais a confiabilidade desses sistemas.

A cidade de Beijing, na China, está instalando uma rede de segurança pública e criando uma série de hotzones. Esse projeto está sendo executado, tendo em vista as Olimpíadas de Pequim, em 2008.

Além da questão da câmeras de monitoramento, existem muitas outras aplicações. Por exemplo, ao abordar uma pessoa, o policial pode ter acesso à sua ficha criminal, a fim de confirmar a sua suspeita; os bombeiros podem ter acesso às plantas das construções para elaborar o melhor plano de evacuação do local e acabar com o incêndio; paramédicos em uma ambulância podem enviar os sinais vitais de um paciente ao hospital, a fim de obter o suporte de médicos mais experientes.

#### **c) Hotspots**

Um hotspot nada mais é do que um local onde se provê o acesso à internet sem fio. São facilmente encontrados nos Estados Unidos, em locais estratégicos, como aeroportos, cassinos, hotéis e restaurantes. Por exemplo, todas

as lanchonetes da rede Starbucks fornecem esse tipo de acesso, em parceria com a operadora T-Mobile.

Com o crescente número de usuários de laptops e PDAs que são compatíveis com as redes sem fio, a criação de hotspots é uma grande estratégia para se fidelizar clientes.

#### **d) Sistemas de transporte**

Através da implementação das WMeshs em pontos estratégicos da rede de transportes, pode-se oferecer serviços como: sistema inteligente de semáforos, temporizados de acordo com o fluxo de veículos que trafegam em cada direção e sentido; prover informações aos usuários de transporte público a situação do veículo que esperam.

Por exemplo, se uma pessoa está aguardando o ônibus A, ele sabe em que ponto da rota este ônibus se encontra, se ainda há lugares vazios e também o tempo estimado para que esse ônibus chegue até ela. Esse ponto pode ser estendido à questão de segurança nos ônibus, uma vez que é possível detectar qualquer mudança de rota.

Através desta aplicação, o sistema de multas passa a ser real-time. Se um radar acusar excesso de velocidade de um veículo, por exemplo, ele pode fotografar o infrator e enviar essa foto e a ocorrência para o sistema, instantaneamente.

### **2.4.3 Vantagens**

Se comparada com uma rede sem fio tradicional as redes Mesh apresentam algumas vantagens [Lee, Zheng e Ko, 2006, Akyildiz e Wang, 2005, Conner e Gryder, 2003] que lhe conferem grande diferencial e principalmente oferecem custos mais baixos ao operador porque os usuários já tem uma cliente, como um laptop com tecnologia Wi-Fi incorporada:

#### **a) Tráfego Balanceado**

As WMesh fornecem maior redundância e podem ser utilizadas para balanceamento de tráfego. Em redes densas, tais como escritórios ou apartamentos com elevada densidade populacional, cada dispositivo pode ter muitos vizinhos que criam múltiplos caminhos entre dois dispositivos em comunicação. Na presença de



interferência localizada, uma rede multi-hop pode rotear os dados por um caminho alternativo.

Se apenas um nó requer uma grande quantidade de largura de banda, então a rede pode rotear dinamicamente o tráfego para outros nós da rede, evitando o nó congestionado. As redes de salto único atuais não tem a capacidade de adaptar-se dinamicamente às interferências ou a nós sobrecarregados.

#### **b) Taxa de transmissão**

Uma restrição característica na comunicação das redes sem fio é a relação direta que há entre o alcance do sinal e a sua velocidade de transmissão. À medida que a distância entre dois pontos é aumentada, a velocidade de transmissão diminui, de forma a garantir uma qualidade adequada aos dados transmitidos, mantendo-se as mesmas características de potência na saída das antenas.

Com a rede sem fio Mesh esta limitação deixa de existir, pois sempre se pode utilizar de saltos através de nós intermediários, que podem ser equipamentos móveis, inclusive de usuários, tornando assim a distância de cada salto compatível com a velocidade que se deseja transmitir, permitindo então um aumento da distância entre a origem e destino sem prejudicar a taxa de transmissão.

Considerando-se que a distância entre os nós diminui sensivelmente, conforme descrito anteriormente, a potência transmitida pode também ser reduzida, permitindo uma maior e mais eficiente reutilização das frequências disponíveis. Se vários dispositivos tentarem acessar a rede de uma só vez, eles podem se conectar através de nós diferentes, sem necessariamente degradar o desempenho do sistema.

#### **c) Redução do custo da rede**

Com a utilização dos múltiplos saltos entre dois pontos, a partir do momento em que haja um nó intermediário da origem ao destino, qualquer exigência de linha de visada entre dois pontos, para uma transmissão de sinais deixa de existir, pois sempre haverá um caminho que permitirá contornar os obstáculos existentes.

Como o próprio equipamento dos usuários incluem funcionalidades de roteador/repetidor, a necessidade de adquirir novos equipamentos para formação da rede diminui sensivelmente.

Um AP colocado em um hotspot apenas para aumentar a capilaridade da rede wi-fi, utilizando funcionalidades da tecnologia Mesh, não necessariamente terá que ter um enlace para a internet, pois a sua conexão com a rede mundial poderá ser feita através de qualquer nó adjacente. Desta forma, tendo em vista que poucos nós precisam ser cabeados, as redes Mesh limitam a necessidade de “backhaul”, proporcionando ao mesmo tempo funcionalidades adicionais como roteamento dinâmico e balanceamento de carga automático.

#### **d) Robustez**

As redes Mesh são mais robustas porque não dependem do desempenho de um nó específico para seu funcionamento. Numa rede de salto único, se o ponto de acesso principal é desativado, a rede também será. Em uma arquitetura de rede Mesh, se o AP mais próximo for desativado ou se houver interferência localizada, a rede continua a funcionar, pois os dados serão simplesmente roteados por um caminho alternativo.

Um bom exemplo de uma aplicação que necessita tanto de robustez quanto de estabilidade é o email, que é dividido em pacotes de dados enviados pela Internet por meio de múltiplas rotas, e então remontado em uma mensagem coerente que chega à caixa postal do receptor. O uso de múltiplas rotas para entregar os dados aumenta a largura de banda efetiva da rede.

#### **e) Reutilização Espacial**

Em uma rede de único salto os dispositivos precisam compartilhar um nó, ou seja, se diversos dispositivos tentarem acessar a rede ao mesmo tempo, ocorre um congestionamento e o sistema fica mais lento. Ao contrário, as redes em malha usam a largura de banda disponível de forma eficiente, já que muitos dispositivos podem se conectar à rede ao mesmo tempo por meio de nós diferentes, sem necessariamente degradar o desempenho do sistema. Os alcances menores de transmissão em uma rede em malha limitam a interferência, possibilitando fluxos de dados simultâneos e separados espacialmente.

#### 2.4.4 Desafios

WMeshs prometem ser a solução para uma série de problemas no provimento de serviços de acesso, por serem flexíveis, dinâmicas e potencialmente de baixo custo [Grosh, 2005]. Embora apresentem boas características e se distingam no mercado de tecnologia de transmissão sem fio, ainda há vários desafios [Akyildiz e Wang, 2004, Tsai e Chen, 2005] a serem tratados para que sua adoção seja realizada em grande escala:

##### **a) Técnicas de rádio**

Nos últimos anos muitas abordagens foram propostas para incrementar a capacidade e a flexibilidade dos sistemas de transmissão sem fio. Exemplos típicos incluem antenas direcionais e inteligentes, sistemas MIMO e sistemas Multi-rádio/Multi-canal.

Estas tecnologias avançadas de rádio requerem um revolucionário projeto nos protocolos das camadas mais altas, especialmente nas camadas MAC e nos protocolos de roteamento.

##### **b) Escalabilidade**

Escalabilidade pode ser definida como o nível de serviço de pacotes aceitável na presença de um grande número de nós na rede [Ramanathan, 2002].

É um requisito crítico para as redes Mesh pela potencial redução de desempenho com o incremento do número de nós. Sem prever esta característica, a performance da rede é degradada significativamente quando as redes começam a crescer. Por exemplo, os protocolos de roteamento não estão aptos a encontrar um caminho de roteamento seguro, protocolos de transporte podem perder conexão e os protocolos MAC podem sofrer de alta redução de vazão. Assim sendo, é necessário realizar estudos que permitam aos protocolos das camadas envolvidas serem escaláveis [Intel, 2004].

##### **c) QoS**

Diferente das clássicas redes ad hoc, muitas aplicações das WMesh são serviços de banda larga com requisitos de QoS diferenciados. Estas aplicações geram uma faixa de modelos de tráfego que precisa ser melhor investigada para prover opções de classificação e priorização dentro dos nós e da rede de forma a maximizar a largura de banda e dar ao usuário a melhor experiência possível. O

desenvolvimento de um protocolo de roteamento que implemente recursos de QoS na escolha das rotas em uma WMesh é a proposição de Munaretto e Fonseca, 2006.

Ainda outro problema é satisfazer requisitos de QoS em redes de radiofrequência que possuem canais de comunicação imprevisíveis, principalmente por compartilhar o canal com nós vizinhos. Uma possível solução é a utilização de estratégias de integração multicamadas, violando as tradicionais abordagens de isolamento entre camadas [Ramanathan, 2002].

#### **d) Segurança**

Como nas WMesh o tráfego é distribuído entre os nós da rede o quesito segurança necessita de uma avaliação minuciosa. A segurança nas redes sem fio em geral é provida por uma senha de acesso compartilhada, desta forma o tráfego de um determinado usuário torna-se vulnerável ao monitoramento por outro nó da rede. Outro aspecto diz respeito aos protocolos de segurança a serem usados que na grande maioria se não forem bem implementados são fáceis de serem quebrados, permitindo assim o acesso de intrusos na rede.

Os esquemas de segurança propostos para redes ad hoc podem ser adotadas para WMesh, porém a maior parte destas soluções não está madura para serem implementadas na prática [Intel, 2004]. Uma grande gama de tipos de ataques podem ser originados do projeto de novos protocolos de roteamento, por conta dos projetistas procurarem protocolos mais leves para privilegiar o desempenho. Esta decisão a ser tomada entre segurança e desempenho é um desafio [Yih-Chun, 2004].

#### **e) Interoperabilidade**

Já existem no mercado algumas soluções proprietárias para a implantação das redes Mesh que devem ser revistas com o objetivo de se obter uma padronização para assegurar a conectividade dos usuários.

Muitas vantagens das redes Mesh originam-se da sua conectividade. Para assegurar a conectividade dos usuários são necessários uma rede auto-organizável, um algoritmo de controle de topologia e suporte ao acesso à rede para os clientes convencionais, assim como para os clientes Mesh, necessitando estabelecer uma padronização.

Desta forma será garantida a interoperabilidade, através da compatibilidade retroativa entre os nós da rede, e a escalabilidade da solução.

## 2.5 PANORAMA DO FUTURO PADRÃO IEEE 802.11s

Apesar da família IEEE 802.11 ser o mais bem sucedido tipo de conexão sem fio utilizado nas WLANs atualmente e continuar em constante desenvolvimento, por exemplo, com as extensões 802.11e (QoS) e 802.11n (permitir taxas de transmissão de até 100 Mbps), estes padrões ainda são limitados devido à dependência sobre a rede cabeada e pelo fato do sistema de distribuição sem fio (WDS) não ser especificado. Além disso, os padrões 802.11 tem por objetivo primário atender às necessidades de comunicação por um único salto e que portanto são afetadas pelos problemas de degradação da qualidade quando aplicados às redes de múltiplos saltos.

Motivados pelas limitações e questões anteriormente abordadas, um TG separado, denominado “Mesh ESS IEEE 802.11s” [IEEE P802.11s, 2006] vem realizando pesquisas desde maio de 2004 sob o WG 802.11 para atender à necessidade das malhas sem fio em WLANs. O objetivo do TGs é investigar e projetar as redes em malha com o intuito de permitir que diferentes dispositivos WLAN realizem roteamento na camada de enlace. A expectativa é obter uma solução fechada em meados de 2007 e que o padrão venha a ser aprovado em Março de 2008.

Especificamente, o TGs 802.11 define um “Extended Service Set” (ESS) em malha (denominado como rede em malha) como uma coleção de dispositivos WLAN interligados com conexões sem fio que permitem um conhecimento de topologia automático e configuração dinâmica. As WMesh 802.11 serão baseadas em extensões do padrão MAC IEEE 802.11, tendo como definição uma arquitetura de rede em malha e a inclusão de um conjunto de novos protocolos para sua instalação, configuração e operação.

A arquitetura irá fornecer um Sistema de Distribuição sem fio IEEE 802.11 (WDS) que suporte transmissão “broadcast/multicast” e “unicast” na camada MAC utilizando-se de métricas baseadas em rádio sobre topologias de múltiplos saltos auto-configuradas, possibilitando fornecer um serviço que seja equivalente a um Sistema de Distribuição cabeado.

A implementação do protocolo de roteamento e a seleção de melhor caminho em uma rede Mesh será definida na camada MAC, ao contrário da camada de rede, como nos modelos atuais, possibilitando uma melhor eficiência no

roteamento do tráfego e garantindo a interoperabilidade e a escalabilidade da proposta.

### 2.5.1 Proposta para Arquitetura de rede 802.11s

A arquitetura WLAN em Malha proposta pelo TGs está representada na Figura 10. Qualquer entidade baseada no padrão IEEE 802.11 (tanto AP ou STA) que parcialmente ou completamente dá suporte a uma função de transmissão em malha é definida como um ponto em malha (Mesh Point - MP). As operações mínimas em MP incluem a descoberta dos vizinhos, seleção de canal, e a formação de uma associação com os vizinhos. Além disso, MPs podem comunicar-se diretamente com seus vizinhos e direcionar o tráfego em nome de outros MPs via ligações em malha sem fio bidirecionais. Um grupo de MPs e as ligações em malha formam um WDS, que se distingue do BSS como definido no legado do IEEE 802.11.

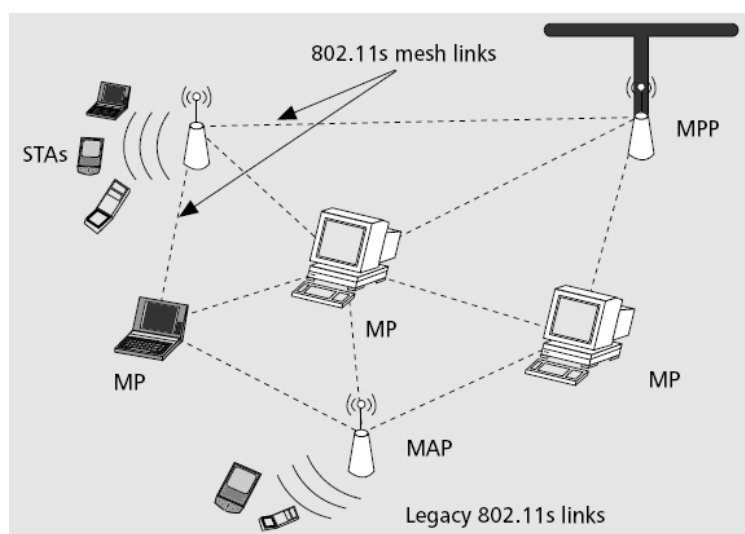


Figura 10 : Arquitetura de rede IEEE 802.11s. Fonte: [Lee, Zheng e Ko, 2006]

A Arquitetura também define um ponto de acesso em malha (Mesh Access Point –MAP) como um MP que inclui funcionalidades adicionais de um AP. O MAP pode operar como uma parte da malha WLAN ou em um dos modos do legado 802.11. Um portal em malha (Mesh Portal - MPP) é ainda um outro tipo de MP no qual múltiplas malhas WLAN podem ser interligadas para construir redes de conexões em malha. Um MPP pode também co-localizar um portal IEEE 802.11 e funcionar como uma ponte/gateway entre a rede WLAN em malha e outras redes no DS. Para identificar de forma unívoca uma malha WLAN, um ID em malha comum é

designado para cada MP, similar ao uso do identificador do grupo de serviço (SSID) para representar um ESS nas redes do legado 802.11.

Nas redes em malha dois processos de inicialização podem ser destacados: primeiro, uma STA associada a um MAP e, segundo, um MAP associado a um nó vizinho que se ligue à rede em malha. A associação de uma STA a um MAP é realizada pela maneira tradicional 802.11. Para a associação com um MP vizinho, um MP em particular precisa obter um endereço IP através do rastreamento em busca do nó vizinho, realizar sua autenticação e possivelmente negociar canais.

Deve-se notar que o sentido do termo “associação” é mais amplo com relação ao termo tradicional IEEE 802.11. A topologia resultante pode envolver o roteamento de múltiplos saltos, que será realizado na camada 2, baseado em endereços MAC.

Tabela 7 - Comparação das redes Mesh em níveis diferentes de mobilidade  
Fonte: [Faccin, Wijting, Knecht e Damle, 2006]

Características	NÍVEL DE MOBILIDADE		
	Estático	Baixa Mobilidade	Alta Mobilidade
Descoberta	Passivo/Ativo	Passivo/Ativo	Ativo
Roteamento	Atualizações não frequentes Alta performance em estado estável	Atualizações não frequentes Alta performance em estado estável	Atualizações frequentes Baixo overhead
Segurança	Reautenticações não frequentes, somente utilizada quando necessário realizar atualizações.	Reautenticações não frequentes	Reautenticações frequentes
QoS	Mecanismos lentos/estáticos Reserva a longo prazo	Mecanismos lentos	Mecanismos rápidos/dinâmicos
Alimentação	Dispositivos ligados a carga diretamente	Ambos dispositivos, prevalecendo os ligados a carga diretamente	Dispositivos alimentados por bateria

Dependendo da velocidade do movimento dos MPs, a mobilidade pode ser classificada em três categorias de velocidades crescentes: estática, mobilidade baixa, e mobilidade alta (Tabela 7). Portanto, o processo de descoberta de nós na rede, o algoritmo de roteamento empregado e a definição do nível do QoS nas redes em malha devem ser capaz de levar em consideração qualquer desses três casos e suas respectivas características. No caso de baixa mobilidade, o desempenho deve ser otimizado e atualizações incidentais (e.g., para a descoberta da rota) poderiam utilizar mais recursos, enquanto que no caso de mobilidade alta, a manutenção da rota e a velocidade de atualização são fatores importantes.

A segurança também deve depender da camada 2 e deve levar a mobilidade em consideração. Com uma topologia estática, a baixa frequência de reautenticações podem ser satisfatórias, mas com os nós com mobilidade alta a necessidade de reautenticação mais freqüente se faz necessária. As WMesh têm topologias que variam em dimensão das menores às maiores. A auto-configuração é uma característica importante, contudo, no caso de redes menores, a rede em malha também podem ser uma rede auto-recuperável.

### 2.5.2 Modelos de redes Mesh

Esta seção descreve duas topologias que são utilizadas nesse trabalho para discutir os principais aspectos técnicos das redes em malha. As WMesh podem ser ligadas à Internet através de um DS com fio utilizando uma conexão sem fio entre MAPs ou MSTAs, sendo denominadas de redes em malha conectadas.

A Figura 11 apresenta uma topologia típica de uma rede em malha conectada, onde alguns MAPs são conectados a um Sistema de Distribuição com fio, e são denominados portais em malha (MPP). Este modelo apresenta uma rede em malha onde os MPs são todos MAPs, enquanto as estações são conectadas aos nós em folha. Nesse exemplo específico, toda a rede em malha pertenceria a uma sub-rede IP, como ocorre tradicionalmente para todas as entidades conectadas através de um Sistema de Distribuição (DS).

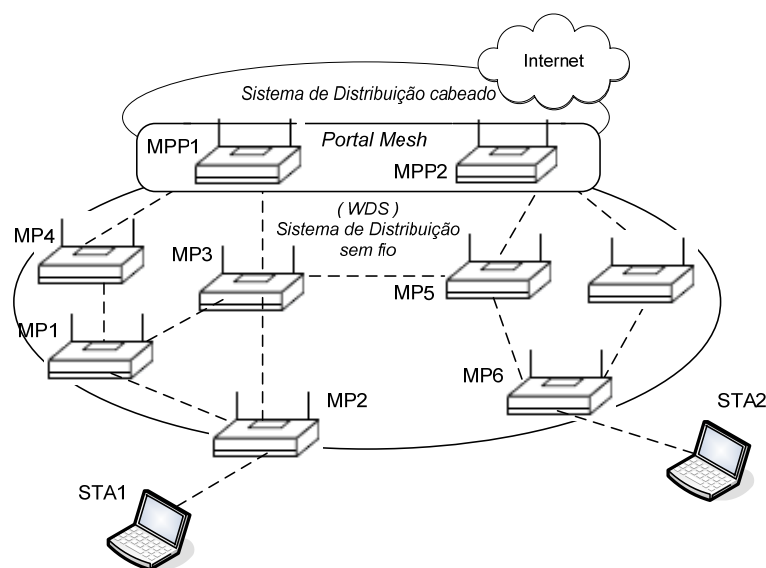


Figura 11 – Modelo de Rede Mesh conectada.  
Fonte: [Faccin, Wijting, Knecht e Damle, 2006]



A Figura 12 mostra uma topologia típica de uma WMesh “independente”, ou seja, uma rede em malha onde os MPs são tanto MAPs, STAs, ou MSTAs, mas nenhum deles está conectado à Internet através de um DS com fio. Tais redes são também denominadas por redes ad hoc em malha.

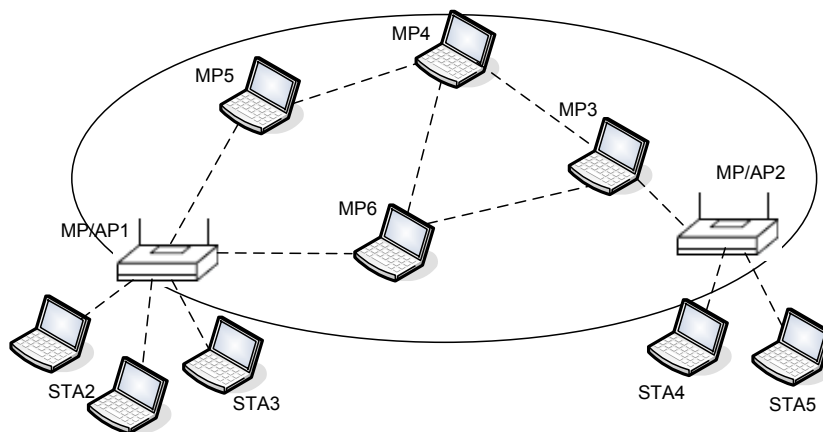


Figura 12 – Modelo de Rede Mesh Ad Hoc  
Fonte: [Faccin, Wijting, Knecht e Damle, 2006]

### 2.5.3 A formação de uma rede sem fio com topologia Mesh

Sobre a ativação, os MPs precisam descobrir redes em malha que estejam potencialmente presentes para que eles possam se associar. Caso nenhuma rede seja detectada, o MP precisa ser capaz de iniciar uma nova. Uma característica importante a partir de uma perspectiva usual é a auto-configuração, ou seja, os mecanismos da rede em malha devem operar sem a necessidade da intervenção do usuário.

Duas abordagens distintas podem ser utilizadas com relação à descoberta da rede: uma abordagem passiva e uma abordagem ativa. Na primeira, a descoberta da rede é baseada na recepção de mensagens de sinais, enquanto que na segunda há o envio de sinal sonda. A abordagem ativa resulta geralmente em um curto tempo de resposta, enquanto que a abordagem passiva requer a escuta de todos os possíveis canais, levando assim a um processo de descoberta mais longo.

A fase de descoberta, baseada num rastreamento ativo ou passivo, resulta numa conexão básica entre os nós na rede. Após a descoberta de uma conexão básica na topologia da rede, os MPs irão formar a rede ESS em malha por associação com os nós vizinhos. Desde que todos os nós dentro de uma malha ESS operem no mesmo canal, o número de nós que podem ser servidos por um desses

ESS é limitado. Se, depois da identificação e associação, a malha consistir de um grande número de nós, como a rede é auto-configurável, ela pode ser dividida em pequenos grupos com um número limitado de nós (redes ESS em malha menores) operando em diferentes canais. Isso requer que alguns nós realizem função de entrada interconectando essas redes em malha ESS menores.

Após a fase inicial de descoberta, as mensagens de sinais continuam a ser transmitidas periodicamente e são utilizadas para a manutenção da topologia. Baseados em mensagens de sinais recebidas, os nós obtêm informações sobre a situação atual da topologia a fim de que elas possam reforçar as associações de conexão e atualizá-las quando necessário (por exemplo, devido à mobilidade).

#### 2.5.4 Roteamento

Em uma WMesh IEEE 802.11, o roteamento é essencial para permitir a comunicação entre os MPs. Segundo [Albuquerque, 2006] os protocolos de roteamento tradicionais usados por redes cabeadas, (como exemplo citam-se os protocolos Routing Internet Protocol (RIP) do tipo *distance vector* e Open Shortest Path First (OSPF) do tipo *link state*, não são aplicáveis a uma rede *ad hoc*. Este fator deve-se às constantes mudanças das topologias encontradas neste tipo de rede, que exigem atualizações constantes nas informações de roteamento. A utilização de protocolos tradicionais nestas redes, refletiria em fatores como alto *overhead*, e alto consumo de banda e potência.

Esta seção analisa as questões relacionadas ao roteamento em redes em malha IEEE 802.11 e discute algumas soluções em potencial.

##### 2.5.4.1 Protocolos de Roteamento na camada IP em Redes sem fio Ad Hoc

O grupo de trabalho IETF MANET concentra-se em padronizar a funcionalidade do protocolo de roteamento IP (camada 3) adequada para as redes Ad Hoc sem fio.

Dois tipos de protocolos são considerados:

##### a) Protocolos de roteamento pró-ativos

São baseados em tabelas pré-definidas, são derivados dos protocolos de Internet tipo *distance-vector* e *link-state*. Mantém tabelas que armazenam as informações de roteamento e a cada mudança na topologia da rede dispara

atualizações a fim de manter a consistência das rotas. Isto pode causar uma substancial sobrecarga, afetando a utilização de largura de banda bem como de energia dos nós.

A sua principal vantagem é que as rotas para qualquer destino estão sempre disponíveis sem perda de tempo de descoberta, ou seja, têm sempre uma visão de qual é a topologia da rede em cada momento, implicando em rápido estabelecimento de rotas. Porém podem não funcionar apropriadamente se houver alta taxa de mobilidade na rede ou um número grande de nós, acarretado pela intensa troca de mensagens de controle entre eles [SESAY, 2004].

Adicionalmente, a maioria das redes Ad Hoc é formada por dispositivos que possuem recursos limitados e são alimentados por bateria. Troca intensa de mensagens irá implicar em maior gasto de energia.

Normalmente utilizam os protocolos Destination Sequenced Distance Vector (DSDV) e o Optimized Link State Routing (OLSR).

#### **b) Protocolos de roteamento reativos**

São caracterizados por possuir mecanismos de descoberta que são disparados quando a origem precisa se comunicar com um destino de caminho desconhecido. A descoberta de rota normalmente é feita através de *flooding*<sup>19</sup>. Geralmente protocolos reativos geram menor *overhead* que os pró-ativos, porém embutem um maior atraso sempre que é necessário conhecer um novo caminho [SESAY, 2004].

Ao estabelecer rotas por demanda, diminuem o número de mensagens de controle, apresentando como principal desvantagem a necessidade de tempo adicional para o estabelecimento da rota.

Normalmente são utilizados os protocolos Dynamic Source Routing (DSR) e o Ad Hoc On-Demand Vector (AODV).

Ainda de acordo com Sesay (2004), existem ainda os protocolos híbridos, os quais combinam ambas as estratégias e tentam utilizar em conjunto, vantagens de ambos.

---

<sup>19</sup> Pacotes enviados por *broadcast* para todos os destinos com a expectativa de atingir o destino desejado

Segundo Albuquerque (2006), protocolos de roteamento pró-ativos são mais adequados às redes sem fio de banda larga, de baixa escalabilidade e de alta mobilidade dos nós, enquanto os reativos ajustam-se melhor em redes de banda estreita, de alta escalabilidade e com baixa ou média mobilidade dos nós. Para cada ambiente ad hoc podemos empregar um tipo de protocolo, e este fator deve-se ao fato de que um protocolo não consegue se ajustar a todos os diferentes cenários e padrões de tráfego característicos das aplicações ad hoc.

#### 2.5.4.2 Roteamento na Camada MAC vs. Roteamento na Camada IP

De acordo com os protocolos MANET, quando um nó requer o envio de dados para um destino, ele refere-se a uma rota existente na sua tabela de roteamento e envia o pacote para o próximo salto até ser entregue ao destino. Encontrar e manter a rota é uma função do protocolo de roteamento específico utilizado. Ao assumir que uma rota em direção ao destino existe, o conjunto de protocolos utilizados pelo nó consulta a tabela de roteamento para encontrar o endereço IP do próximo salto, e obtém o endereço MAC do próximo salto através do Protocolo Address Resolution Protocol (ARP). O nó então envia uma estrutura de dados MAC para o próximo salto que no retorno realiza um roteamento para o pacote.

Os mecanismos de roteamento da Camada 3 trabalham bem quando todos os nós intermediários constituem estações e portanto têm uma funcionalidade de roteamento de camada IP. Em redes em malha, esses mecanismos não são adequados já que as redes em malha podem ser compostas de ambos MSTAs e MAPs. Os APs são tradicionalmente aparelhos de Camada 2 puros, que são incapazes de decodificar o pacote IP e adicionar uma funcionalidade de camada 3 a um AP é tipicamente considerado inaceitável. O mesmo deve ser esperado dos MAPs.

Portanto, as técnicas de roteamento da camada 3 propostas pelo MANET não podem ser diretamente aplicadas às redes em malha. Além disso, o roteamento definido em MANET é realizado a partir de um único e simples sistema métrico de cálculo de salto, i.e. uma estação escolhe a trajetória para o destino tendo já o número mínimo de saltos. Em redes em malha, a métrica da trajetória mais curta não é de todo útil. Na verdade, a trajetória mais curta pode ser sobrecarregada a partir de

um ponto de vista de canais sem fio ou pode não satisfazer as necessidades de QoS, latência ou requisitos de segurança para uma comunicação específica. As métricas para as redes em malha precisam ser definidas levando em consideração as condições de conexão, os fatores de eficiência de potência e de outros aspectos de nível de conexão a fim de rotear os dados até o destino. Pode-se pensar em fazer desses parâmetros disponíveis para protocolos de roteamento em camada 3 para o uso em unidades métricas da trajetória. Contudo, a fim de evitar ineficiência e duplicação de funcionalidade, isso iria exigir uma integração estreita da funcionalidade da camada 2 e 3, que é difícil de alcançar em produtos reais e de se obter sua padronização.

Desta forma, o roteamento da camada 2 utilizando-se endereços MAC é a principal solução considerada pelas redes em malha 802.11. Contudo, as soluções de roteamento definidas na camada 2 para os dispositivos Mesh utilizar-se-ão dos conceitos do MANET abordados acima.

#### **2.5.5 Domínios de aplicação**

Tecnologias baseadas no padrão IEEE 802.11 podem ser empregadas como tecnologia de acesso. Neste caso, tipicamente, a cobertura de última milha através de tecnologias wireless é implementada com uso de antenas direcionais externas de alto ganho [Intel, 2004], e em redes que dependem de infra-estrutura.

Em uma arquitetura 802.11 com topologia em malha seria possível a formação de zonas de acesso (hot zones), redes que, através de nós fixos que utilizam antenas omni-direcionais, transmitem um sinal de baixa potência capaz de chegar aos nós vizinhos, os quais devem tornar a transmiti-lo aos próximos nós, e assim, sucessivamente, até que os dados cheguem ao nó de destino. O alcance das LANs e WLANs tradicionais seriam ampliadas e o alcance da cobertura do limite padrão seria aumentando de 100 metros para mais de 10 Km. Além disso, seria possível aumentar o desempenho das redes sem fio do limite de 54 Mbps para mais de 100 Mbps.

Segundo Intel, 2004, as redes 802.11 com topologia em malha poderiam ser utilizadas como soluções de acesso em áreas de cobertura restrita, com a possibilidade de criação de caminhos entre estações que não possuem linha de visada por estarem bloqueadas por obstáculos, e podem ter seus pacotes roteados

através de outros nós. Desta forma implementaria maior robustez por conta das múltiplas rotas disponibilizadas pelos diferentes nós, o que também pode se refletir em maior largura de banda na rede.

Outra possibilidade seria a sua aplicação em um projeto de rede cobrindo uma área Metropolitana, como solução para rede de distribuição e de acesso, levando o sinal até gateways com interface cabeada (Portal Mesh) e disponibilizando aos usuários o acesso à Internet. A Figura 13 apresenta a topologia de uma possível rede mesh metropolitana, com a interligação dos nós componentes sem fio e a interoperabilidade com os gateways de acesso à Internet, disposto em lugares distintos.

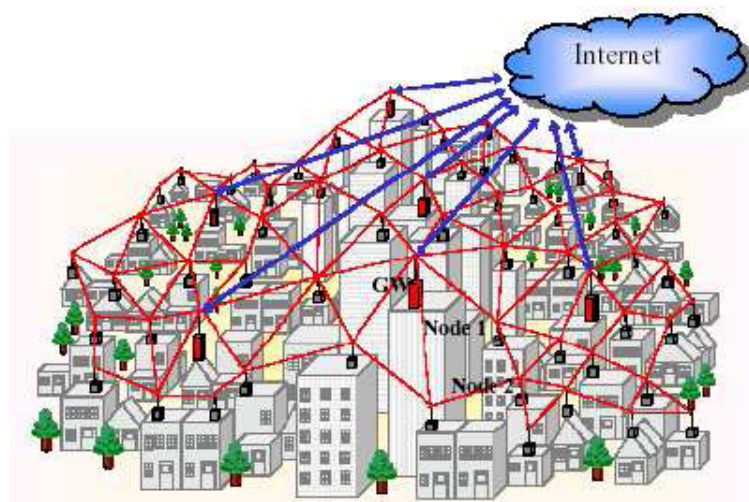


Figura 13 - Topologia de uma rede Mesh com cobertura de uma MAN.  
Fonte: [Jun e Sichitiu, 2003]

## 2.6 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE REDES SEM FIO

O meio sem fio requer alguns cuidados para garantir desempenho, segurança e disponibilidade. Vários usuários na mesma localidade influenciam no desempenho, obstáculos reduzem a área de cobertura, e a proximidade com fontes de interferência (como fornos de microondas, telefones sem fio) podem inviabilizar a transmissão e recepção de sinais. Além disso, será necessário utilizar recursos de autenticação (como 802.1x), controle de endereço MAC e utilização de recursos de criptografia para permitir a utilização da tecnologia com maior segurança.

Assim sendo é essencial ao instalar uma rede sem fio proceder à identificação de fontes de interferência, definir possíveis locais de instalação com acesso à rede física, especificar as áreas geográficas a cobrir, fazer o planejamento de frequências e de níveis de potência a utilizar. Este conjunto de procedimentos

designa-se por “*site survey*” (análise de localização) e constitui o método a adotar quando se pretende instalar uma rede *wireless*, permitindo inspecionar em detalhe o local de instalação da rede, através do uso de dispositivos e ferramentas. Seu objetivo principal é dimensionar a área através da identificação do local ou locais mais apropriado(s) para a instalação do(s) AP(s), a quantidade de células e de APs necessários para que as STAs tenham qualidade de sinal aceitável de recepção, acesso à rede e utilizar aplicações e recursos de modo compartilhado.

Estes levantamentos devem ser realizados tanto nos ambientes internos (*indoor*) como nos ambientes externos (*outdoor*), com a finalidade de verificar a(s) área(s) mais adequada(s) para a instalação do AP(s), observando a existência de visada entre os pontos de origem e de destino, e de obstáculos como, por exemplo, prédios, árvores e morros, assim como possíveis fontes de interferências, analisando a intensidade, qualidade e taxa de erros do sinal.

Para este levantamento, além das ferramentas de análise podem ser utilizados APs, Notebook's, placas PCMCIA e PDA's. Para garantir um resultado muito próximo da realidade, os equipamentos utilizados no levantamento deverão ser semelhantes ou até mesmo se possível no padrão especificado para a utilização no projeto. Caso contrário poderão gerar resultados inesperados na implantação.

Existem empresas especializadas nesse tipo de levantamento e em ferramentas específicas no mercado para a realização de Inspeção do Local, principalmente para ambientes externos, onde são utilizados analisadores de espectro para esta finalidade.

Portanto, ao se projetar uma rede sem fio que leve em consideração todas as variáveis possíveis e permita a sua perfeita implementação e funcionamento é necessário que os profissionais envolvidos no projeto levem em consideração os conceitos e limitações inerentes à comunicação sem fio.

### **2.6.1 O meio de transmissão**

O meio de transmissão das ligações via rádio é composto pelo conjunto superfície terrestre e atmosfera, sendo o comportamento do sinal transmitido dependente das condições atmosféricas e do relevo do terreno em que o sinal propagado está inserido.

As características da atmosfera ao redor de todo o planeta são dinâmicas e variam com a temperatura, umidade e pressão, em uma dada região. A altitude em

relação à superfície da Terra é outro fator que contribui para as alterações nas propriedades eletromagnéticas.

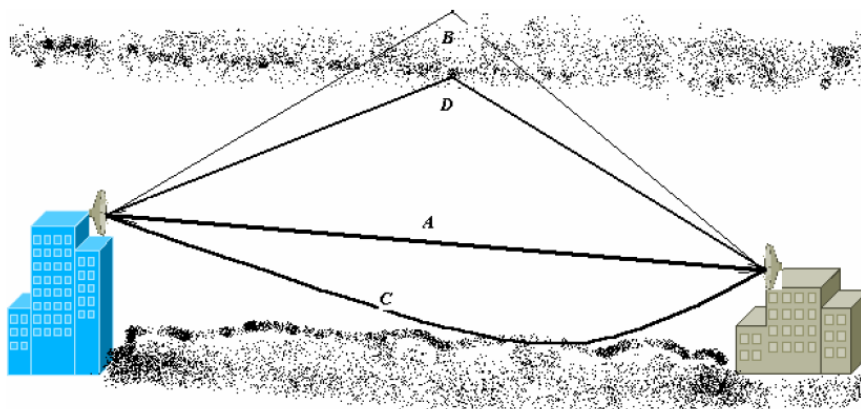


Figura 14 - Os principais mecanismos de propagação. Fonte: [Barradas, 1978]

Analisando detalhadamente a propagação de uma onda eletromagnética através do percurso entre o transmissor e o receptor, têm-se os seguintes percursos de propagação:

- A – Caminho direto
- B – Refração das camadas Ionosféricas
- C – Reflexões do terreno
- D - Refração das camadas Troposféricas

Analisando a Figura 14, observa-se que o trajeto A é o que leva menos tempo entre as duas antenas. Os outros caminhos que a onda pode tomar são as reflexões fixas provocadas pelo perfil topográfico do terreno em C, as reflexões causadas por mudanças nas camadas troposféricas e nuvens em D ou nas camadas ionosféricas em B e assim por diante. Quando todas as ondas atingem a antena, elas são somadas, e o resultado final pode prejudicar o sinal originalmente transmitido. Cada um dos dois tipos de perturbação pode ter uma diferença no tempo em relação ao trajeto direto, resultando em soma ou subtração entre eles, dependente ou não da frequência.



## 2.6.2 Fenômenos de propagação

Quando uma onda eletromagnética viaja pelo espaço entre dois pontos, ocorrem alguns fenômenos, denominados de fenômenos da propagação:

### a) Desvanecimento

Uma onda eletromagnética, ao atravessar o meio de propagação, sofre alterações de amplitude e de percurso. O desvanecimento representa alterações percebidas por atenuações, reforços e distorções no espectro do sinal.

### b) Difração

Quando uma onda de rádio se depara perante um obstáculo opaco e impenetrável, cujas dimensões são consideravelmente maiores que o comprimento de onda, existe a tendência natural da onda efetuar o “contorno” desse obstáculo. Este efeito faz com que uma parte da energia do sinal seja redirecionada para fora do percurso normal entre emissor e receptor. O efeito da difração, vista na Figura 15, vai surgir nos extremos do obstáculo, onde as ondas rádio irão sofrer algum espalhamento (são difractadas), resultando numa atenuação adicional no nível de sinal do ponto de vista do receptor, devida à energia espalhada para outras direções.

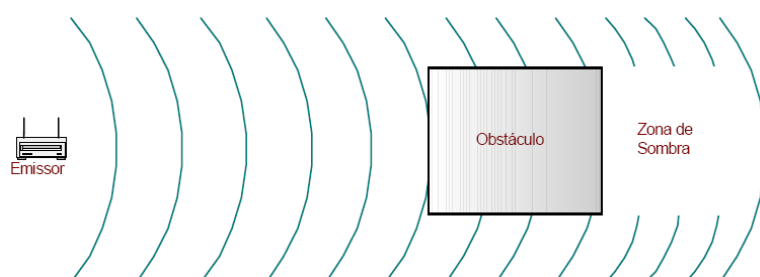


Figura 15 - Efeito da difração, vista de cima. Fonte: Adaptado de [Junior, 2005]

Apesar dessa atenuação, o efeito da difração pode permitir a recepção do sinal rádio sem linha de vista como se pretende ilustrar na Figura 16.

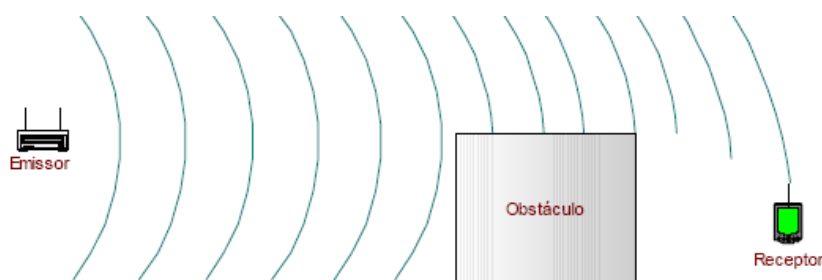


Figura 16 - Efeito da difração, vista lateral. Fonte: Adaptado de [Junior, 2005]

### c) Dispersão ou Espalhamento

Acontece quando existe um bloqueio de uma onda eletromagnética que se propaga entre o transmissor e o receptor de um rádio enlace, por um obstáculo cujas dimensões são comparáveis ao comprimento de onda deste sinal. A natureza deste fenômeno é similar ao da difração, exceto que as ondas eletromagnéticas são espalhadas em muitas direções. De todos os fenômenos aqui analisados, este é o mais difícil de ser previsto.

### d) Reflexão

Ocorre quando a onda de rádio se choca com um obstáculo cujas dimensões são consideradas maiores que o comprimento da onda incidente. A amplitude da onda refletida pode tanto ser maior ou menor do que o nível do sinal no ponto de recepção. Para os casos onde existam muitas ondas refletidas, o nível do sinal recebido tende a se tornar instável. Esse fenômeno é comumente referido como desvanecimento de multipercurso ou *multipath fading*.

A onda refletida pode vir a reforçar ou a degradar o nível do sinal no ponto de recepção, dependendo da fase com que aí chega. Poderá por isso apresentar uma influência construtiva ou destrutiva quando é somada às restantes amostras do sinal. Genericamente, o fenômeno da reflexão de uma onda rádio numa superfície pode ser comparado ao modo como a luz é reflectida num espelho. Ao ângulo que a onda apresenta em relação à superfície reflectora chama-se de ângulo de incidência, sendo que o raio reflectido faz com a área reflectora o ângulo de reflexão. Este ângulo é sempre igual ao ângulo incidente e esse evento no percurso do raio implica a inversão da sua fase. Com a Figura 17 pretende-se ilustrar esse efeito. O efeito da reflexão tem uma grande preponderância sobre os restantes, pois é o principal causador do multipercurso.

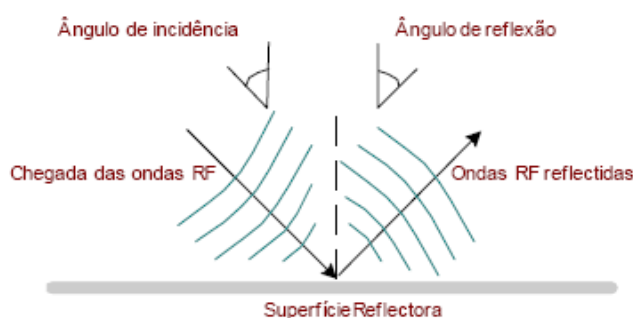


Figura 17 - Efeito da reflexão. Fonte: Adaptado de [Junior, 2005]

### e) Refração

Esse fenômeno acontece quando as ondas eletromagnéticas não se propagam em linha reta, mas se inclinam em relação à normal, devido ao índice de refração inconstante encontrado na atmosfera. Desta forma, a área de cobertura de um dado transmissor pode ser maior do que o teórico, mas cuidados devem ser tomados quanto a isso, pois existem flutuações nos parâmetros atmosféricos e, por conseguinte, haverá variação no nível da intensidade do sinal recebido.

Pelas definições acima descritas e retomando-se a Figura 14, notam-se as possíveis composições em que o campo total é formado ao alcançar uma antena receptora. A situação mais simples é a da transmissão de uma onda entre um transmissor e um receptor por visada direta, possível teoricamente em um ambiente completamente desobstruído. A atenuação deste sinal é geométrica, uma vez que a energia irradiada tende a se espalhar por esferas cada vez maiores. De acordo com a recomendação ITU-R PN. 525-2, a perda no espaço livre é calculada pela expressão abaixo:

$$L_{bf} = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right) \quad \text{expressão 1}$$

Onde:

$L_{bf}$ : perda no espaço livre (dB)

$d$ : distância

$\lambda$ : comprimento de onda, sendo que  $d$  e  $\lambda$  devem ser expressas na mesma unidade

O cálculo pode ser feito também utilizando-se a frequência no lugar do comprimento de onda:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log (f) + 20 \log (d) \quad \text{expressão 2}$$

Onde:

$f$ : frequência [MHz]

$d$ : distância [km]

As ondas terrestres representam uma propagação que acompanha a superfície da terra, sofrem influência direta das características eletromagnéticas, do formato e do relevo do solo. Essas ondas são divididas em ondas de superfície,

guiadas ao longo do contorno da terra, e as ondas espaciais, que percorrem a região logo acima da superfície da terra; é formada pelo campo da ligação em visada direta e pela onda que reflete no solo e contribui para a formação do sinal total no lado do receptor.

A onda de superfície representa a parcela do campo irradiado que se propaga ao longo do contorno da terra, acompanhando a sua estrutura física. A presença de obstáculos dá origem a reflexões, e parte dessa energia atinge a antena receptora, constituindo uma onda refletida. Portanto o sinal que alcança o receptor inclui parte da energia refletida no solo na composição com a onda direta, conhecida como onda espacial.

As ondas ionosféricas alcançam a antena receptora após refletir ou propagar em um determinado trecho no interior da ionosfera, retornando em seguida à terra devido a dois mecanismos: um, nas faixas mais baixas de frequência, a onda reflete na base da ionosfera e no outro há uma refração continuada no meio, até o retorno. Embora sejam fenômenos diferentes, do ponto de vista da recepção, são encarados como reflexão na atmosfera. Para baixas frequências é possível alcançar até alguns milhares de quilômetros, ao passo que para frequências mais elevadas dirigidas a essa região perdem-se no espaço e não permitem a formação de enlace.

Nas ondas troposféricas, ocorrem variações acentuadas no índice de refração, acarretando mudanças na direção de propagação, podendo fazer com que a onda retorne a superfície da terra. Neste caso acontece a comunicação conhecida por tropodifusão. Propagações da onda direta na região da troposfera aplicam-se a enlaces nas altas faixas de frequência para distâncias entre dezenas e poucas centenas de quilômetros. As ondas de superfície propagam-se ao longo do contorno do solo e predominam em baixas frequências. Dependendo da frequência e da polarização, podem alcançar grandes distâncias ou não; a atenuação é acentuada quando se utiliza a polarização horizontal, por conseguinte com alcance menor do que na utilização da polarização vertical. Nos sistemas de comunicação em altas frequências deve-se desconsiderar a onda de superfície na composição do campo que atinge o receptor. Portanto, sintetizando a explicação acima, para se compor um sinal que alcança o receptor em um rádio enlace, deve-se levar em conta o efeito das ondas troposféricas, ionosféricas e as terrestres ou de superfície, ocasionadas pelas ondas direta e a refletida.

### 2.6.3 Zona de Fresnel

Um conceito muito importante para a análise e desempenho de um rádio enlace nas proximidades da superfície da Terra é o de zona de Fresnel, que é um volume do espaço contido em um elipsóide, conhecido também como elipsóide de Fresnel, que tem posicionado em seus focos cada uma das duas estações de um enlace.

A Figura 18 permite a visualização deste conceito, mostrando a representação bidimensional da elipsóide.

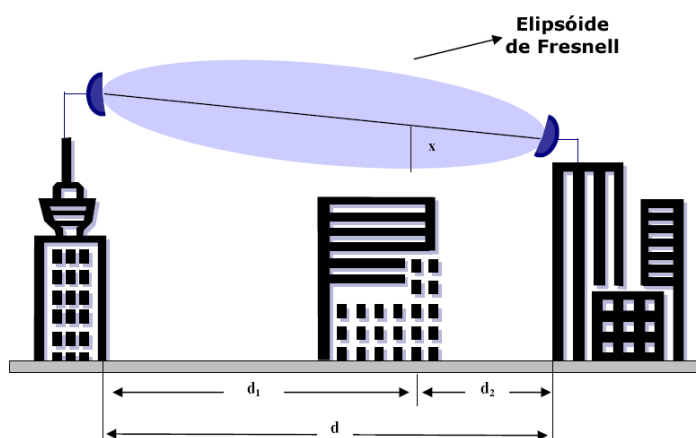


Figura 18 - Enlace outdoor, Zona de Fresnel. Fonte: [Junior, 2005]

A superfície do elipsóide é definida pelo trajeto direto  $d$  por alguma quantidade fixa. Essa quantidade é função de  $\lambda$  e  $n$ , em que  $n$  é um número inteiro e positivo. Para a primeira zona de Fresnel,  $n$  é igual a 1 e o comprimento de trajeto difere em metade do valor de  $\lambda$ , que significa a reversão de fase em 180 graus em relação ao trajeto direto. Na prática, somente a primeira zona de Fresnel necessita ser considerada. Um rádio enlace terá a primeira zona de Fresnel livre se, conforme mostra a Figura 18, nenhum objeto for capaz de causar uma difração ao penetrar o elipsóide correspondente; é também denominado neste caso de visada direta. Esta denominação causa certo equívoco e para tal, deve-se fazer uma ressalva sobre a existência de diferença conceitual entre visada direta visual ou somente visada direta, que considera apenas a visibilidade óptica (visão a olho nu ou pelo uso de instrumentos ópticos tais como o binóculo) entre as duas extremidades do enlace, e a rádio visão ou radiovisibilidade, que leva em consideração o conceito de Elipsóide de Fresnel e seus critérios de liberação das zonas de Fresnel.

A primeira zona de Fresnel é muito importante nos rádio enlaces, pois dependendo da porcentagem de que esta zona esteja livre de qualquer obstáculo, então a propagação pode ser considerada no espaço livre. Isto porque dentro do primeiro elipsóide de Fresnel, ou seja, no círculo central, as ondas se somam. Obstruir este círculo enfraquece a radiação entre **d**, como aparece na Figura 18. Portanto a radiação precisa de uma seção suficiente para a propagação e as radiações dos sucessivos anéis de Fresnel cancelam uma à outra, deixando a radiação do círculo central como sendo a principal e que não deve ser obstruída. Para se calcular o raio da elipsóide de Fresnel em um ponto entre o transmissor e o receptor, a fórmula é:

$$R_f = 547,72 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{(d_1 + d_2)f}} \quad \text{expressão 3}$$

Sendo:

- n : número inteiro que caracteriza a ordem do raio de Fresnel
- $\lambda$ : comprimento de onda [m]
- d : distância entre dois pontos [m]

Outra situação particular interessante é quando se necessita calcular o raio de Fresnel próximo a uma das estações, transmissora ou receptora, ou quando  $d_1 \gg d_2$ .

Então a expressão 3 fica reduzida a:

$$R_f = \sqrt{nd_2\lambda}$$

Portanto, todo o dimensionamento das alturas das torres e antenas é baseado no cálculo da porcentagem da liberação da primeira zona de Fresnel.

Desta forma, o desenho do sistema, considerando-se a sensibilidade do receptor, a perda no espaço livre (dependentes da distância e da faixa de frequência a serem utilizadas), as perdas nos cabos e conectores, a potência do transmissor e o ganho das antenas fornecerá a margem de desvanecimento que deverá ser adequada para a confiabilidade requerida para o enlace.

Deve-se monitorar também o espectro, analisando a presença de sinais de outros sistemas na mesma faixa de frequência e as polarizações passíveis de serem utilizadas. Notebooks e Handhelds são equipamentos adequados para a realização

da inspeção antes de definir as especificações finais do projeto, para se verificar a desobstrução da primeira zona de Fresnel.

#### **2.6.4 O espectro de frequências**

Dada a importância que as comunicações móveis representam para a infraestrutura das telecomunicações modernas, torna-se imperioso identificar e definir, claramente, as faixas de frequências corretas para estas novas aplicações e considerar os aspectos regulatórios relacionados ao gerenciamento do espectro.

Assim, o espectro de frequência é um recurso escasso do ponto de vista físico, limitado tecnicamente e, por conseguinte oneroso, pela consideração de que quanto mais alta for a frequência utilizada mais cara serão as soluções, devido à complexidade técnica dos componentes empregados para a fabricação de circuitos eletrônicos e dispositivos dos sistemas irradiantes. E não se deve esquecer a questão social, onde o espectro é um bem público, que deve ser bem gerenciado por um órgão regulador governamental que promova a utilização de forma otimizada e universalizada, oferecendo a oportunidade da utilização de todas as classes, para o crescimento de uma nação.

##### **2.6.4.1 Frequências licenciadas ou não licenciadas**

Ao escolher o meio de transmissão para uma rede, o profissional se depara com questões como qualidade, confiabilidade e custos. A decisão entre as tecnologias com ou sem fio é complexa e recai sobre a detalhada análise de vários fatores tais como a distância entre os pontos a serem conectados, a capacidade de informação a ser enviada, a topografia da região ou o tempo necessário para a implantação entre outros. Uma vez definida a solução sem fio, deve ser analisado qual o tipo de solução segundo o parâmetro faixa de frequência.

Os enlaces de rádios licenciados são aqueles que utilizam faixas ou canais de frequências predeterminadas para uso exclusivo de um operador para uma dada região, licenciada pelos órgãos de regulamentação de seus respectivos países, como no Brasil é a ANATEL, a fim de se evitar qualquer interferência mútua.

As redes de microondas autorizadas raramente sofrem interferência, mas se isso acontecer, o problema é normalmente resolvido com assistência da agência reguladora. Assim existe segurança por parte da empresa que se utiliza deste enlace

ao saber que o canal designado é para seu uso exclusivo, dentro de uma área geográfica, e que as comunicações essenciais não serão prejudicadas por interferências de outras empresas.

Os enlaces que dispensam licença de uso utilizam faixas que podem ser utilizadas por qualquer tipo de usuário, sem a necessidade de obtenção de autorização prévia do órgão regulador para a utilização da frequência, dentro de uma mesma região. Desta forma, mesmo que seja obtida uma transmissão livre de interferências na instalação, não há qualquer garantia de que continue desta forma durante todo o tempo de operação do enlace. Ou seja, se houver uma ou várias fontes de interferências que possam surgir a qualquer instante e provocar a degradação do desempenho do enlace ou a redução da disponibilidade, deverá ser detectada e anulada a fonte desta interferência.

Quanto mais sinais interferentes no local, mais difícil se tornará a probabilidade do enlace se manter disponível. Mesmo sendo projetados para suportar determinados níveis de interferências, os equipamentos não suportam as mais severas. Para se evitar as surpresas logo no início da implantação, deve-se realizar um rastreamento de rádio nos arredores do local da instalação, para se assegurar a detecção de quaisquer fontes permanentes ou intermitentes de interferência.

Em regiões metropolitanas onde o espectro se encontra congestionado, deve-se utilizar antenas diretivas, de forma a reduzir a quantidade de sinais interferentes que possam atingir o enlace.

### **2.6.5 Equipamentos de Radiação restrita**

Dispositivos de radiação restrita são aqueles cuja emissão de radiação na frequência utilizada produz um campo eletromagnético com intensidade dentro dos limites estabelecidos no regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita. A conformidade com estes limites é atestada por um processo de certificação que deve ser homologado pela ANATEL.

Desde que tenham a sua certificação homologada pela ANATEL, estes equipamentos podem ser utilizados sem necessidade de autorização de uso ou licença de funcionamento da estação. Os equipamentos de radiação restrita operam em caráter secundário e, portanto não tem direito a proteção contra interferências



prejudiciais provenientes de qualquer outra estação de radiocomunicação e nem causar interferência em qualquer sistema operando em caráter primário. Além disso, todo equipamento de radiação restrita deve ser projetado para assegurar que nenhuma outra antena além daquela com ele fornecida possa ser utilizada, exceto quando estabelecido o contrário explicitamente na regulamentação.

#### 2.6.5.1 Condições gerais de uso para radiação restrita

Os limites de emissão que caracterizam um equipamento de radiação restrita são classificados de acordo com as condições de uso, que são:

##### a) **Condições gerais de uso**

Estabelece frequências e seus respectivos limites a serem atendidos por todos os equipamentos que pretendam serem caracterizados como de radiação restrita;

##### b) **Condições específicas de uso**

Estabelece limites de emissão alternativos aos das condições gerais (menos restritivos) para equipamentos de radiação restrita destinados a aplicações específicas e operando em determinadas faixas de frequências.

Não há a necessidade de autorização para utilizar frequências no Brasil quando se opera com equipamentos que possuam certificação homologada pela ANATEL, com a designação de radiação restrita. Tais produtos que recebem esta certificação são aqueles que atendem as condições gerais de emissão do regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação restrita ou destina-se a aplicações específicas que tem limites alternativos menos restritivos também definidos pelo regulamento. A existência desta categoria de equipamentos simplifica o processo de autorização para operação dos mesmos como se pode observar pelas várias aplicações específicas abrangidas.

#### 2.6.5.2 Resolução ANATEL N.º 365/2004

A resolução número 365 publicada pela ANATEL no dia 10 de maio de 2004, que substituiu a de número 305 de 26 de julho de 2002, aprova o Regulamento sobre equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita.

Este regulamento tem por objetivo caracterizar os equipamentos de radiação restrita e estabelecer as condições de uso de rádio frequência para que possam ser utilizados com dispensa da licença de funcionamento de estação e independentes de outorga de autorização de uso de rádio frequência.

De forma a tornar o estudo do presente capítulo o mais objetivo possível, serão restringidas as informações específicas das condições para a utilização da radiação restrita referente ao escopo deste trabalho, ou seja, enlaces ponto-a-ponto para a faixa de 2,4GHz e cuja aplicação está detalhada na Tabela 3, seção regulamentada número IX, que é a do Rádio Spread Spectrum (Espalhamento Espectral).

No capítulo II do regulamento - das condições gerais, na tabela III encontra-se a definição da faixa de frequência em estudo, que é de 2.400 a 2.483,5MHz e os valores limites de intensidade de campo média, medidos a uma distância de 3 metros.

A intensidade de campo da frequência fundamental é de até 50mV por metro e a intensidade de campo de harmônicos é de até 500 mv. A intensidade de campo de pico de qualquer emissão não deve exceder o valor médio especificado por mais de 20dB.

No capítulo III do regulamento - das condições específicas de uso, a seção IX especifica os equipamentos que utilizam a tecnologia de espalhamento espectral ou outras tecnologias de modulação digital para as faixas de 902 a 907,5MHz, 915 a 928MHz, 2400 a 2483,5MHz e 5725 a 5850MHz. Para a frequência em estudo – 2400 a 2483,5MHz, ressaltam-se resumidamente as seguintes condições:

- a) As aplicações podem se dar nas topologias ponto-a-ponto e pontomultiponto;
- b) Só poderá ser utilizada a tecnologia de Espalhamento Espectral ou a Multiplexação Ortogonal por divisão de frequência – OFDM;
- c) Nesta faixa as condições não valem para os equipamentos cujas estações utilizem potência E.I.R.P..8 superior a 400mW, em localidades com população superior a 500.000 habitantes. Para este caso onde a frequência deve ser licenciada, existe a Resolução número 397, de 6 de abril de 2005, que é detalhada no item 2.8.3;
- d) Os equipamentos utilizados no rádio-enlace devem ser homologados e certificados pela ANATEL, ou seja, devem cumprir os requisitos do Regulamento

para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações, aprovado pela Agência;

e) Os sistemas devem utilizar 15 freqüências de salto não coincidentes no mínimo; f) O tempo médio de ocupação não deve ser superior a 0,4 segundos em qualquer freqüência em um intervalo de 0,4 segundos multiplicado pelo número de canais de salto utilizado;

f) Pode-se evitar ou suprimir transmissões nos sistemas em uma freqüência particular de salto, desde que no mínimo 15 canais não coincidentes de salto sejam utilizados;

g) A potência de pico máxima de saída do transmissor é limitada em 125mW, para sistemas que utilizam menos de 75 freqüências de salto e 1W para sistemas com 75 ou mais freqüências de salto;

h) Para sistemas que utilizam a técnica de modulação digital do tipo seqüência direta, a largura de faixa deve ser no mínimo de 500kHz a 6dB;

i) A potência máxima de pico na saída do transmissor não pode ser superior a 1W;

j) Para a densidade espectral de potência, o seu valor máximo não deve exceder a 4dBm em qualquer faixa de 3kHz durante qualquer intervalo de tempo em transmissão contínua, para estações que utilizem potência E.I.R.P. igual ou inferior a 400mW, em localidades com população superior a 500 mil habitantes;

l) Para a utilização na topologia ponto-a-ponto pode-se empregar antenas de ganho direcional superior a 6dBi, desde que a potência de pico máxima na saída do transmissor seja reduzida de 1dB a cada 3dB que o ganho direcional da antena exceder a 6dBi.

#### 2.6.5.3 Resolução ANATEL N.º 397/2005

A resolução número 397 publicada pela ANATEL no dia 6 de abril de 2005, que aprova o Regulamento sobre as condições da utilização de rádio freqüências na faixa de 2.400 a 2.483,5MHz por equipamentos com a tecnologia de Espalhamento Espectral ou tecnologia de Multiplexação Ortogonal por divisão de freqüência, tem por objetivo estabelecer as condições de utilização nas estações que utilizem a potência E.I.R.P. superior a 400mW, em localidades com população superior a 500 mil habitantes. Na Tabela 8 encontram-se resumidamente estes valores.

Tabela 8 – Valores para os equipamentos de radiação restrita.  
Fonte: [Anatel, 2004]

Regulamento Aplicável	E.I.R.P.	População (habitantes)	Licenciamento das estações
Resolução 397 6/4/2005	> 400mW	> 500mil	SIM
Resolução 365 10/5/2004	< 400mW	> 500mil	NÃO
	> 400mW	< 500mil	NÃO
	< 400mW	< 500mil	NÃO

Este regulamento deixa claro que na situação considerada acima, em relação ao tamanho da população e da faixa de potência, existe a necessidade do licenciamento das estações, diferente do que é considerada na resolução 365, analisada na subseção anterior. De forma análoga a resolução 365, esta também define a operação como de caráter secundário, ou seja, não existe direito a proteção contra interferências prejudiciais provenientes de qualquer outra estação de radiocomunicação e nem podem causar interferência em qualquer sistema operando em caráter primário.

As características técnicas definem que o serviço pode ser utilizado tanto na topologia ponto-a-ponto, como ponto-multiponto. Para os sistemas que utilizam a modulação digital do tipo salto em frequência com menos de 75 frequências de salto, a potência de pico máxima de saída do transmissor não deve ser superior a 0,125W; com um número maior ou igual a 75 frequências de salto a potência de pico máxima não deve ser superior a 1W.

Para os sistemas que utilizam a modulação do tipo sequência direta no Espalhamento Espectral ou a Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência – OFDM, a potência de pico máxima de saída do transmissor não pode ser superior a 1W. Para as aplicações ponto-a-ponto, pode-se lançar mão das antenas de transmissão com ganho direcional superior a 6dBi, desde que a potência de pico máxima na saída do transmissor seja reduzida de 1dB a cada 3dB que o ganho direcional da antena exceder a 6dBi.

### 2.6.6 Segurança

Um dos grandes desafios enfrentados por administradores de rede na implantação de uma rede WLAN é garantir a segurança no tráfego dos dados.

Com o avanço da tecnologia de comunicação sem fio e dos serviços ofertados através da internet que podem ser utilizados através de Laptops, PDA's e celulares, torna-se cada vez mais urgente a necessidade de garantir a segurança das informações trafegadas. Segundo Junior (2005) a comunicação utilizando como meio o ar requer maiores cuidados, pois qualquer pessoa ao utilizar um receptor apropriado poderá monitorar as transmissões sem ser notada, ao contrário das redes cabeadas que por apresentarem restrições de acesso físico à rede, previnem o acesso de usuários não-autorizados.

O IEEE 802.11 especifica dois métodos de segurança para as redes wireless:

- a) Autenticação (uso do SSID): esse serviço verifica a identidade da estação-cliente que está comunicando.

- b) Privacidade (Wired Equivalent Privacy - WEP): busca a mesma privacidade dos dados obtida com a rede cabeada, com o objetivo de prevenir que um usuário mal intencionado capture e interprete o tráfego de dados na wireless LAN.

O SSID é usado na autenticação da estação-cliente. O IEEE especifica dois métodos de autenticação:

- a) Autenticação por sistema aberto (Open Systems Authentication - OSA): toda negociação entre o cliente e o ponto de acesso é feita em texto claro e nenhuma condição é imposta, ou seja, todos clientes que solicitam a autenticação são autenticados. Basicamente é uma autenticação nula e pode ser utilizada em redes de acesso público.

- b) Autenticação com chave compartilhada (Shared Key Authentication - SKA): ao utilizar o protocolo SKA o ponto de acesso envia um desafio para o cliente. O cliente deve cifrar o desafio com o protocolo de criptografia configurado e o envia para o ponto de acesso. O ponto de acesso verifica se a resposta ao seu desafio está correta e efetiva a autenticação do cliente.

O padrão surgiu como a solução para os consumidores ávidos por mobilidade, porém os itens de segurança adotados não garantiram o crescimento esperado no número de usuários das redes locais sem fio. A adoção do padrão foi acompanhada pelo aparecimento de vulnerabilidades de segurança, que comprometeram sua confiabilidade. A concepção dos mecanismos de segurança foi feita considerando um nível de administração não aplicado pelos administradores das redes e nem tão pouco por seus usuários.

Para garantir a segurança das informações trafegadas nesse meio muitos protocolos foram e estão sendo desenvolvidos, utilizando-se de tecnologias de criptografia e autenticação para garantir a segurança destes dados. Serão abordados a seguir alguns destes protocolos que contribuem para o funcionamento das redes sem fio com segurança.

#### 2.6.6.1 Wired Equivalent Privacy (WEP)

O WEP é um padrão de criptografia de quadros baseado no protocolo RC4 da RSA. Seu funcionamento baseia-se na escolha de uma chave secreta que deve ser compartilhada por todos os dispositivos que estão em uma mesma rede, logo, torna-se necessário a configuração de todos os pontos de acesso e interfaces existentes. Sua intenção é oferecer segurança através da rede wireless, enquanto o dado é transmitido de um ponto a outro através de ondas de rádio. Dessa forma o WEP pretende proporcionar algumas funcionalidades equivalentes às aquelas fornecidas pelos atributos de segurança física inerentes ao meio cabeado: proteção da comunicação wireless contra estações não-autorizadas que possam “escutar” dos dados (confidencialidade), prevenção contra acessos não-autorizados (controle de acesso) e contra modificações de mensagens transmitidas (integridade dos dados).

O IEEE 802.11 especificou o WEP como protocolo de criptografia, que emprega um algoritmo simples e utiliza um gerador de número pseudo-aleatório (PRNG) e a cifra RC4 (Figura 19). No entanto, este protocolo ao usar um *stream* para criptografia RC4 simétrica permite que a chave para a criptografia estática seja relativamente fácil de ser quebrada.

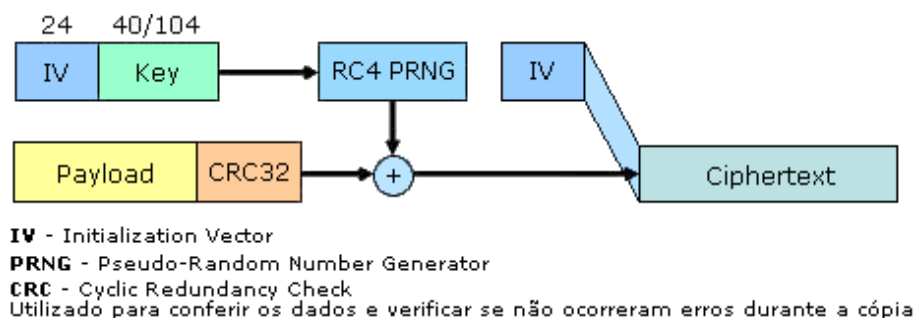


Figura 19 - Formação do texto cifrado utilizando WEP. Fonte: [Junior, 2005]

Ao utilizar o protocolo de autenticação SKA com WEP o ponto de acesso envia um desafio em texto claro para o cliente. O cliente deve cifrar o desafio com o protocolo WEP, utilizando uma chave de sessão pré-compartilhada, e depois deve enviá-lo novamente ao ponto de acesso. O ponto de acesso verifica se a resposta ao seu desafio está correta e autentica o cliente.

Algumas deficiências podem ser observadas neste processo de autenticação, como por exemplo, o envio do desafio em claro por parte do ponto de acesso ao cliente e a falta de autenticação do ponto de acesso perante o cliente.

O algoritmo SKA ao ser utilizado executa uma validação desafio/resposta utilizando o protocolo WEP. O desafio é enviado em texto claro e pode ser capturado por qualquer cliente que esteja coletando os pacotes na rede de forma promíscua. A resposta ao desafio, embora cifrada, também pode ser capturada. Logo, de posse do texto em claro e do texto cifrado, através de operações de ou-exclusivo, tem-se acesso ao key-stream. Este é o primeiro passo para a leitura de dados confidenciais e para a quebra da chave WEP.

A falta de autenticação do ponto de acesso torna viável que um invasor insira um novo dispositivo na rede simulando ser um dos pontos de acesso legítimos. Neste caso, o único objetivo deste falso ponto de acesso é capturar credenciais de acesso e outras informações que deveriam ser confidenciais.

Assim sendo, embora o WEP possa bloquear acessos casuais de estações observando o tráfego de dados, usuários mal intencionados utilizando ferramentas apropriadas podem coletar e analisar dados suficientes para descobrir as chaves de criptografia em questão de horas ou até minutos. Desde 1994 que o algoritmo RC4 foi quebrado e é possível encontrar algoritmos de descryptografia na internet.

Políticas de segurança são únicas para cada organização. Mas para muitas redes, o uso de chaves WEP estáticas, que são aplicadas manualmente nos clientes

e nos pontos de acesso, e em locais em que os equipamentos permanecem por dias ou semanas permanentemente conectados, demonstra não ser suficiente.

#### 2.6.6.2 Wi-Fi Protected Access (WPA)

Em resposta às vulnerabilidades expostas pelo WEP em outubro de 2002, a Wi-Fi Alliance, juntamente com o IEEE anunciou uma nova arquitetura de segurança: o Wi-Fi Protected Access – WPA. O propósito deste protocolo é a mudança constante da chave de encriptação dificultando a invasão ou descoberta da chave. O protocolo WPA é compatível com o padrão de redes sem fio 802.11i e realiza melhorias em encriptação de dados e autenticação do usuário. As especificações do WPA são designadas para que somente atualizações de software e firmware sejam necessários para os hardwares existentes. Tem suporte a WEP, Temporal Key Integrity Protocol (TKIP) e 802.1x, e possui vetor de inicialização da chave criptográfica de 48 bits.

A vantagem do WPA sobre o WEP é a melhoria na criptografia dos dados ao utilizar um protocolo de chave temporária (TKIP) que possibilita a criação de chaves por quadro, um mecanismo de distribuição de chaves e um vetor de inicialização de 48 bits, ao invés de 24 bits como era no protocolo WEP. Além disso, uma outra vantagem é a melhora na autenticação de usuários. Essa autenticação se utiliza do 802.1x e do Extensible Authentication Protocol (EAP), que faz a autenticação de cada usuário antes de entrar na rede.

O WPA, conforme requerido na recomendação 802.1x, contém os avanços e melhorias para segurança no que diz respeito a integridade, autenticação e privacidade, considerados a seguir:

##### **a) Autenticação**

No 802.11 a autenticação 802.1x é opcional. Já quando se utiliza o WPA, a autenticação 802.1x é exigida. A autenticação com WPA é uma combinação de sistema aberto e autenticação 802.1x que utiliza duas fases:

- A primeira fase utiliza a autenticação de sistema aberto para indicar a um cliente sem fio que ele pode enviar quadros para o ponto de acesso;
- A segunda fase utiliza o 802.1x para realizar a autenticação em nível de usuário utilizando um sistema de autenticação, como um servidor Remote Authentication Dial-in User Service (RADIUS).



Em ambientes domésticos, onde não há uma infra-estrutura RADIUS, o WPA suporta o uso de chave pré-compartilhada, chamado de Pre-Shared Key (PSK). Já para ambientes com infra-estrutura de RADIUS o WPA suporta EAP e RADIUS.

O 802.1x é baseado no EAP e seu uso requer três componentes na rede:

- Requisitante: um cliente que deseja ser autenticado e pode ser um software cliente e um laptop, PDA ou outro dispositivo wireless.
- Autenticador: um dispositivo que atua como um intermediário entre o requisitante e o servidor de autenticação. Esse dispositivo é, usualmente, um AP.
- Servidor de Autenticação: um sistema de autenticação, como um servidor RADIUS, que é responsável pela validação dos clientes e verificação de sua permissão para se conectar à rede.

#### b) Criptografia

Com o 802.1x, a troca de chaves de criptografia *unicast* é opcional. Adicionalmente, o 802.11 e o 802.1x não provêm o mecanismo para troca de chave de criptografia que é usada para o tráfego *multicast* e *broadcast*. Com o WPA, a troca destas chaves de criptografia para ambos é necessária. O TKIP altera a chave de criptografia única para todo o quadro, e é sincronizada a cada alteração entre o cliente e o ponto de acesso.

Para a chave de criptografia *multicast/global*, o WPA inclui uma facilidade para o ponto de acesso, para avisar mudanças dos clientes sem fio conectados. Para o 802.11 a criptografia WEP é opcional. Para o WPA a criptografia usando o TKIP é necessária. O TKIP substitui o WEP com um novo algoritmo de criptografia que é mais forte que o algoritmo WEP e ainda pode ser executado usando as facilidades de cálculo presente no hardware existente do equipamento wireless.

O TKIP provê também a verificação da configuração de segurança depois de determinar a chave de criptografia e a alteração de sincronização da chave de criptografia para cada quadro e determinação do *start*.

O WPA define o uso do AES (*Advanced Encryption Standart*), como uma substituição opcional para criptografia WEP. Pelo fato de não ser possível o suporte AES através de atualização de *firmware* em equipamentos sem fio existentes, este

suporte para adaptadores de redes sem fio e nos pontos de acesso não é necessário.

O WPA suporta chaves de 40 a 104 bits com vetor inicialização de 24 bits, e a combinação de 104 bits da chave com os 24 bits do vetor de inicialização gera uma chave de 128 bits.

### c) **Integridade dos dados**

Com o 802.11 e o WEP, a integridade dos dados é fornecida pelo ICV 32-bit que é incorporado ao *payload* (corpo) do quadro 802.11 e criptografado com WEP. Embora o ICV seja criptografado, é possível através de analisador de criptografia alterar bits no *payload* criptografado e atualizar o ICV criptografado sem ser detectado pelo receptor.

Com o WPA, um novo método conhecido como *Michael* especifica um novo algoritmo que calcula um MIC (*Message Integrity Code*) de 8 bytes com as facilidades de cálculos disponíveis no hardware sem fio existente. O MIC é colocado entre a porção de dados do quadro 802.11 e o ICV de 4 bytes. O campo MIC é criptografado junto com os dados do quadro e o ICV. O Michael também provê uma proteção de resposta através do uso de um novo contador de campo no cabeçalho MAC do quadro 802.11.

O WPA deverá substituir o atual WEP. Sua tecnologia de criptografia e de autenticação de usuário é mais avançada, ou seja, cada usuário tem uma senha exclusiva, que deve ser digitada no momento da ativação do WPA. A chave de criptografia será trocada periodicamente e de forma automática no decorrer da sessão. Esse mecanismo possibilita que um usuário não autorizado não se conecte facilmente a rede WLAN.

A chave de criptografia dinâmica é uma das principais diferenças do WPA em relação ao WEP, que utiliza a mesma chave repetidamente. Esta característica do WPA também é conveniente porque não exige que se digitem manualmente as chaves de criptografia - ao contrário do WEP. Utiliza um CRC (*Cyclic Redundant Check*) linear, ou seja, uma chave RC4 criptografa a mensagem transmitida que será decriptografada e conferida pelo destino. Se o CRC calculado pelo destino for diferente do CRC original o pacote é descartado. A Figura 20 ilustra os componentes do WPA.

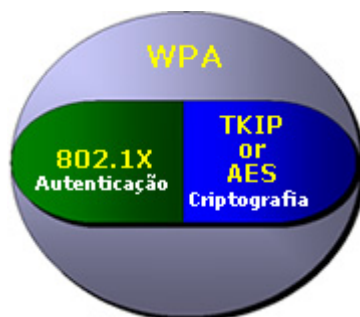


Figura 20 - Componentes de autenticação e criptografia do WPA.  
Fonte: [Junior, 2005]

#### 2.6.6.3 Remote Authentication Dial-In User Service (RADIUS)

Para o processo de autenticação requerido pelo WPA, utiliza-se o protocolo 802.1x que poderá utilizar um servidor de autenticação como o RADIUS. O RADIUS é um serviço para autenticação de usuário remoto através de discagem e é um protocolo largamente desenvolvido que permite autenticação, autorização e uma auditoria de acessos a rede de forma centralizada.

O RADIUS é descrito na RFC 2865 e RFC 2866 - RADIUS Accounting. Originalmente desenvolvido para acesso remoto dial-up, o RADIUS agora é suportado pelos Access Point, autenticando os usuários que utilizam dispositivos sem fio e outros serviços de acessos à rede, como o VPN. É necessário um cadastro com a base de usuários autorizados, senhas e políticas de acesso definidas.

#### 2.6.6.4 Virtual Private Network (VPN)

Em um *hot spot*, ambiente onde se disponibiliza o acesso à internet por meio da tecnologia WLAN, pode-se acessar uma rede corporativa e trafegar com dados em um ambiente seguro através da utilização de uma VPN, ou seja, de uma rede virtual privada construída sobre a infra-estrutura de uma rede pública, para acesso remoto a rede corporativa. Ao invés de utilizar *links* dedicados ou redes de pacotes para conectar redes remotas, utiliza-se a infra-estrutura da Internet.

A VPN surgiu da necessidade de utilizar redes de comunicação que não são confiáveis, para trafegar informações de forma segura. As redes públicas não são confiáveis, uma vez que os dados que nelas trafegam estão sujeitos a interceptação e captura. A VPN combina autenticação, criptografia e tunelamento dos dados em um canal seguro entre o usuário e a rede corporativa.

Ela pode ser utilizada em uma rede sem fio para prover uma maior segurança aos usuários. A VPN pode utilizar três diferentes protocolos para

estabelecer a conexão: PPTP (tunelamento ponto-a-ponto), L2F (*Layer 2 Forwarding*) ou L2TP (*Layer 2 Tunneling Protocol*), e IPSec (*IP Security Protocol*).

#### 2.6.6.5 Extensible Authentication Protocol (EAP)

O EAP - protocolo de autenticação extensível - descrito na RFC 2284, é um protocolo genérico que permite que os pontos de acesso à rede suportem múltiplos métodos de autenticação. Entre eles estão: smart cards, TLS (Transport Layer Security), Kerberos, Microsoft e outros. Foi originalmente criado como extensão do PPP (Point-to-Point Protocol) que permite o desenvolvimento arbitrário de métodos de autenticação de acessos à redes.

Como o PPP, os protocolos de autenticação tais como o CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol), o MS-CHAP e o MS-CHAP V2, especificam um mecanismo de autenticação que é selecionado durante a fase de estabelecimento da conexão. Durante a fase de autenticação da conexão, o protocolo de autenticação é usado para validar a conexão. O protocolo de autenticação por si só é uma série de mensagens de correção enviadas em uma ordem específica.

Com o EAP, o mecanismo de autenticação definido não é alterado durante a fase de estabelecimento da conexão PPP. Ao contrário, cada enlace PPP negocia a execução do EAP durante a fase de autenticação da conexão. Quando a fase de autenticação da conexão é estabelecida, o enlace negocia o uso de um esquema de autenticação específico conhecido como EAP.

Após este tipo de EAP ser estabelecido, é permitida a troca de mensagens entre o cliente e o servidor de autenticação (servidor RADIUS), que pode variar baseado em parâmetros de conexão. A conversação consiste em solicitar informação de autenticação e responder. Os detalhes de autenticação dependem do tipo de EAP. De forma estrutural, o EAP é projetado para autenticar módulos de plug-in em acessos de clientes e servidor de autenticação e para conexão.

Para suporte adicional de um novo tipo de EAP, uma biblioteca com os tipos de EAP é instalada nos clientes e no servidor de autenticação. Isto permite a facilidade de configuração de um novo plano de autenticação a qualquer tempo. O EAP provê alta flexibilidade para permitir maior segurança nos métodos de autenticação.

O EAP é uma tecnologia importante para a segurança de componentes de conexão. Somando-se com o suporte PPP, o EAP é também reproduzido nas

camadas do IEEE 802. O IEEE 802.1X define como o EAP é usado para a autenticação dos dispositivos IEEE 802, incluindo o IEEE 802.11b, AP sem fio e switches Ethernet. A diferença do IEEE 802.1X para PPP está somente nos métodos de autenticação suportados.

#### 2.6.6.6 Protected EAP (PEAP)

Ainda que o EAP permita flexibilidade de autenticação através do uso dos tipos de EAP, a conversação pode ser enviada sem codificação. Um usuário mal intencionado com acesso pode injetar pacotes dentro da conversação ou capturar uma mensagem de uma autenticação bem sucedida através de analisador. Este é um problema, especialmente para as conexões sem fio, onde um usuário externo mal intencionado pode monitorar a rede.

A troca de mensagens PEAP – EAP acontece durante o processo de autenticação do IEEE 802.1x, antes dos quadros da rede sem fio serem criptografados com o WEP. O PEAP é um tipo de EAP que cria primeiro um canal seguro que é criptografado e protegido com TLS. Então uma nova negociação do EAP acontece com outro tipo de EAP, autenticando a tentativa do cliente de acesso a rede. Devido ao canal de proteção de TLS, a negociação e a autenticação do EAP para esse acesso à rede se tornam mais seguras.

#### 2.6.6.7 WPA2

O WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2) é o padrão de segurança baseado na norma IEEE 802.11i que combina as mais seguras e eficazes técnicas de autenticação e encriptação, como a Advanced Encryption Standard (AES). A grande vantagem do WPA2 é sua compatibilidade com o WPA original e, conseqüentemente, suportar o TKIP e AES. Ele garante o nível de privacidade de dados exigido por muitas instituições governamentais e financeiras.

Ele pode funcionar de dois modos: WPA2-Enterprise e WPA2-Personal. O primeiro modo, WPA2-Enterprise, possui todo o conjunto de requisitos WPA2 e suporte para autenticação baseada em EAP. Já o WPA2-Personal foi desenvolvido para utilização doméstica ou em pequenas empresas que não necessitam de alto nível de segurança.

### 3 PROJETO DE REDE WMESH METROPOLITANA

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os sistemas sem fio surgem como uma alternativa de acesso para áreas cuja distância, dificuldade ou custo inviabilizam o alcance através das infra-estruturas tradicionais baseadas em cabos de fibra ótica ou cobre. Estas tecnologias tiveram grande aceitação na aplicação em redes de computadores locais, porém, apesar dos grandes benefícios, as WLANs têm como grande restrição a sua pouca largura de banda e a conseqüente falta de suporte a aplicações robustas como voz e vídeo, além de atingirem poucas distâncias e poucos usuários já que o acesso está restrito a limitada cobertura dos hotspots.

Diante deste cenário, as redes sem fio Metropolitanas satisfazem as atuais necessidades dos projetos de rede, atingindo mais usuários e alcançando maiores distâncias.

Partindo desta premissa, este capítulo irá apresentar uma Arquitetura de rede WMesh Metropolitana, dentro das propostas do TG 802.11s, e um estudo de caso que contempla a aplicação desta mesma Arquitetura no *campus* da Universidade Federal do Rio de Janeiro, visando a modernização da Universidade através do emprego de novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Serão apresentados os principais aspectos da proposta de projeto e da construção da infra-estrutura necessários para disponibilizar acesso banda larga a diferentes públicos.

O projeto da Rede Metropolitana WMesh irá contemplar diferentes abordagens: Rede Acadêmica, Redes comunitárias e um Projeto de inclusão digital. A principal vantagem de sua infra-estrutura é a possibilidade de convergência e democratização dos diferentes meios de comunicação e informações.

A perspectiva a ser alcançada com a implementação deste projeto é estimular a pesquisa da tecnologia Mesh. Aproveitando-se do estudo e análise das diferentes necessidades a serem apresentadas por cada público na utilização da rede, será possível estimar para cada tipo de abordagem o perfil de tráfego, nível de segurança e QoS mais adequados. Estes resultados poderiam ser utilizados na formulação de novos trabalhos.

### 3.2 REDES SEM FIO METROPOLITANA

Uma rede sem fio Metropolitana torna-se um importante agente no processo de disseminação do acesso à informação, na medida em que satisfaz as atuais necessidades dos projetos de rede, atingindo mais usuários em maiores distâncias e eliminando antigas barreiras físicas para o acesso às redes.

A construção de uma Rede de dados com cobertura Metropolitana exige o uso de duas tecnologias (Figura 21): uma para construção do “backbone metropolitano”, que corresponde às vias de alta velocidade capazes de transportar o tráfego agregado de múltiplo usuários e as redes de acesso, que servem como solução de última milha aos usuários.



Figura 21 - Tecnologias utilizadas para construção de redes metropolitanas  
Fonte: [Cisco Systems, 2002]

Dentre as tecnologias de rede sem fio disponíveis para implantação das redes Metropolitanas, podemos destacar o padrão 802.16 (WiMax), como *backbone* da rede, provendo serviço de banda larga através da formação de uma malha de distribuição para acesso metropolitano, necessária para interconectar os diversos pontos de uma área urbana e o padrão 802.11 (Wi-Fi) que consiste de uma rede de acesso com cobertura limitada, disponível ao usuário final através de uma Wireless Local Area Network (WLAN).

No entanto, o mercado está apostando em soluções alternativas de projetos de baixo custo, utilizando a própria tecnologia 802.11 para cobrir áreas metropolitanas, com infra-estrutura para atender desde operadores de telecomunicações até iniciativas de órgão públicos ou privados. Esta nova tendência é sustentada pelo baixo custo e disponibilidade dos terminais 802.11 em relação aos terminais WiMAX, pela disseminação no uso de WLANs, associados com os atuais avanços das tecnologias 802.11, com as extensões 802.11n (permitir taxas de

transmissão de até 100 Mbps) e o 802.11s (extender a área de cobertura das células Wi-Fi utilizando tecnologia Mesh).

Duas abordagens se destacam: implementar redes sem fio utilizando antenas direcionais em uma configuração ponto-a-ponto ou utilizar a tecnologia segundo uma topologia Mesh, em malha [Intel, 2004]. Estas abordagens tem permitido ao padrão 802.11 através do aumento na área de abrangência e nas taxas de transmissão estar presente nos segmentos das LANs e MANs, alcançando distâncias de até 20 Km a 100 Mbps.

A proposta deste trabalho consiste em empregar a tecnologia 802.11 sob a topologia Mesh como solução de projeto tanto para o backbone da rede quanto para rede de acesso, estendendo a área de cobertura dos hotspots tradicionais para hotzones.

### 3.3 ARQUITETURA DE REDE WMESH METROPOLITANA

A aplicação da tecnologia 802.11 como solução de “*backbone metropolitano*” é viabilizada pela proposta do TG denominado “Mesh ESS IEEE”, que busca padronizar o sistema de distribuição sem fio (WDS) em malha, a comunicação entre os nós utilizando múltiplos saltos e o roteamento na camada de enlace.

Esta proposta foi motivada principalmente pelo fato de o padrão 802.11 oferecer a certificação IEEE 802.11 somente para a comunicação da STA ao AP. Esta falta de definição permitiu que as implementações de interconexão entre APs e de AP para os provedores de serviços (ou seja, as aplicações de backhaul), que são tipicamente necessárias para a cobertura de última milha e de hotzones, fossem viabilizadas por soluções proprietárias, oferecendo pouca ou nenhuma interoperabilidade. Como consequência, o crescimento do acesso sem fio sempre ficou limitado devido aos custos e a flexibilidade limitada do backhaul.

Atualmente a tecnologia Mesh está sendo desenvolvida por diversas empresas, a maioria delas iniciantes. Estes desenvolvimentos, apesar de serem, em muitos aspectos, aderentes à algumas especificações atualmente utilizadas, como a 802.11 e 802.16, apresentam diversos aspectos particulares e patenteados pelas empresas desenvolvedoras. Espera-se que em meados de 2008 o padrão 802.11s seja homologado pelo IEEE, permitindo a interoperabilidade de diferentes equipamentos e o emprego da tecnologia 802.11 Mesh em larga escala.



A fim de demonstrar o emprego da tecnologia 802.11 sob a topologia Mesh como solução de projeto tanto para o backbone da rede quanto para rede de acesso em redes sem fio Metropolitanas, este trabalho propõe a Arquitetura de rede WMesh Metropolitana apresentada na Figura 22. O objetivo a ser alcançado é apresentar uma solução de baixo custo que permita disponibilizar aos usuários acesso a serviços de banda larga sem fio (wireless broadband)<sup>20</sup> em áreas Metropolitanas, a ser empregada por provedores de acesso, iniciativas de órgãos públicos e privados.

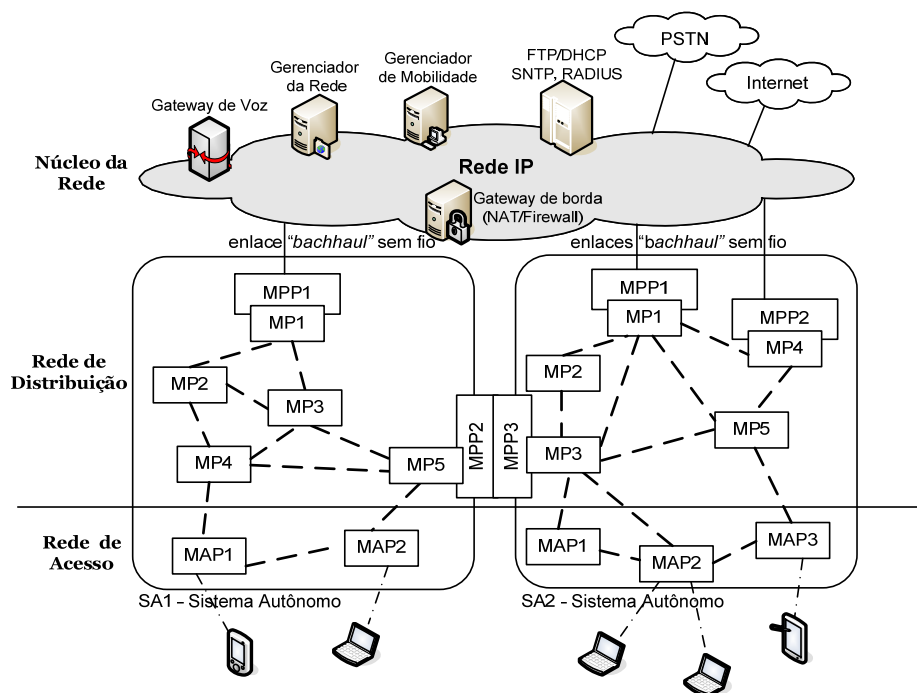


Figura 22 - Arquitetura WMesh Metropolitana

Na Arquitetura apresentada uma hotzone é referenciada como um Sistema Autônomo (SA). Neste trabalho um SA é definido como uma rede lógica independente formado de acordo com o modelo de Rede Mesh Conectada, apresentada na Seção 2.5.2, com os equipamentos dispostos de forma fixa, ou seja, sem mobilidade entre os nós. A formação de um SA abrange a definição da quantidade de MPs necessários para implantação da rede de distribuição, da quantidade de MPPs previstos para o acesso backhaul e a quantidade de MAPs necessários para integração com o WDS e o acesso dos usuários.

Como proposta de aplicação da Arquitetura, após definido o escopo do projeto, um dos primeiros pontos a ser analisado no levantamento inicial de um

<sup>20</sup> O termo banda larga sem fio refere-se, neste contexto, a transmissão de dados em alta velocidade ocorrida dentro de uma infra-estrutura de pontos fixos, incluindo tanto os terminais de assinantes quanto os servidores de serviço.

projeto WMesh Metropolitano é o número de Sistemas Autônomos (SAs) necessários para cobrir uma determinada região. O próximo passo após definido o número de SAs é a realização do site survey em cada SA. Os resultados obtidos irão permitir a definição preliminar dos possíveis locais de instalação dos equipamentos e o posicionamento das antenas e a quantidade adequada de MPs, MPPs e MAPs necessários para atender a demanda dos usuários quanto aos serviços a serem utilizados (dados, voz e/ou multimídia). A instalação definitiva será concluída após a realização de uma bateria de testes, que tem por objetivo minimizar alguns problemas que são inerentes às redes sem fio, como interferências, melhor localização das antenas, latências e perda de pacotes. Finalmente, após a realização de todos os testes a rede poderá ser colocada em operação.

Uma característica essencial dos projeto de redes Mesh é utilizar equipamentos com recursos de configuração automática. Este recurso permite que a malha mesh seja configurada imediatamente após o posicionamento dos equipamentos, sem a necessidade da elaboração dos Mapas de frequência, engenharia de RF ou planejamento de rede, diminuindo consideravelmente a quantidade de dias que seriam necessários para implantação da rede.

A interligação de um SA com o núcleo da rede, assim como a integração de diferentes SAs na Arquitetura é provida pelos enlaces do backhaul. Para exemplificar, o MMP1 estaria sendo empregado como enlace do backhaul no SA2, com a função de repassar o tráfego agregado no WDS para o núcleo da rede e possibilitar a troca de informações entre os SAs. MPPs adicionais poderiam ser inseridos na malha para prover resiliência à rede. Ao adicionar o MPP2 no SA2, ele passaria a exercer duas funções: prover um caminho alternativo em caso de falha no MMP1 e possibilitar o balanceamento de carga no WDS.

No núcleo da rede estariam concentrados os principais serviços a serem fornecidos aos clientes: FTP/DHCP e HTTP, serviço de email, acesso à internet, acesso a serviço de VoIP e outros. Os usuários receberiam uma única conta de acesso do provedor de serviço, que seria validada na base de dados do servidor RADIUS, instalado no núcleo da rede, utilizando-se do sistema de autenticação 802.11x. Com esta configuração o acesso dos usuários aos serviços da rede seria garantido tanto no SA1 quanto no SA2, com mobilidade e flexibilidade.

### 3.3.1 Formação de um Sistema Autônomo Mesh

Uma das principais propostas para aplicação da Arquitetura é utilizar equipamentos com rádios que façam uso do conjunto de protocolos IEEE 802.11 para diferentes funções exercidas pelos nós Mesh fixos. Sendo assim, o padrão 802.11a que trabalha com frequência de operação de 5,8 GHz seria utilizado na interligação entre MPs na WDS, por não haver sobreposição com os padrões 802.11b e g, que trabalha a 2,4GHz. As tecnologias de 2,4GHz seriam utilizadas para a conexão com as STAs, principalmente utilizando-se do padrão 802.11g, por ser compatível com dispositivos baseados em 802.11b e utilizar um mecanismo de modulação mais robusto (OFDM) e mais adequado para redes *outdoor*. O resultado é um sistema em banda dupla que permite a criação de hotzones com dezenas ou mesmo centenas de Km<sup>2</sup> de cobertura.

O WDS seria formado pela interconexão entre MPs, utilizando a tecnologia 802.11a (Figura 23), estando menos suscetível à interferências e podendo ser aplicado em projetos de backbone de rede sem fio, formando uma grande malha de distribuição em torno da área a ser coberta e encaminhando o tráfego aos nós vizinhos até o gateway da rede. Por empregar uma rede Mesh auto-configurável, a solução do WDS torna-se escalar, permitindo extender a cobertura da rede com relativa facilidade através da instalação de novos dispositivos. É importante ressaltar que um MP tem por finalidade apenas estender a área do WDS. Estes equipamentos com rádio operando a 24 dbm de potência e ganho de antena de 7 dbi poderiam alcançar uma distância média de até 3,5 Km com visada direta.

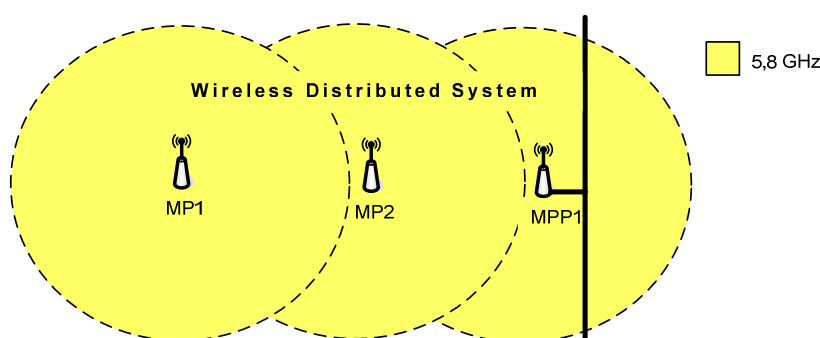


Figura 23 - Formação do Wireless Distributed Systems (WDS)

Como solução de acesso *backhaul* a Arquitetura utilizaria MPPs equipados com rádios 802.11a para integração com o WDS e uma interface de acesso de serviço certificada pelo padrão 802.11d que permita a integração do backbone com o

DS cabeado. É importante ressaltar que tendo em vista que poucos nós precisam ser cabeados, as redes Mesh limitam a necessidade de backhaul, proporcionando funcionalidades adicionais como roteamento dinâmico otimizado e balanceamento de carga automático.

Na Arquitetura apresentada na Figura 22, MPPs adicionais podem ser inseridos no WDS para incrementar a resiliência da rede, garantindo uma rota alternativa em uma eventual falha e permitindo que a rede automaticamente encaminhe o tráfego por outro caminho. Quando mais de um SA for implementado, MPPs adicionais podem ser inseridos de forma a garantir a troca de informações entre as STAs nos diferentes SAs e também como forma de incrementar a resiliência da rede.

Empresas como a Cisco[Cisco, 200X] e BelAir Networks [BelAir, 2006] estão apostando na tecnologia Mesh e disponibilizando no mercado APs Dual-Radio Wireless Mesh. Estes equipamentos possuem dois rádios: um para o acesso dos clientes e o outro para prover o serviço de backbone mesh. Como trabalham em diferentes frequências, os rádio podem operar em paralelo sem causar interferência no funcionamento um do outro. Desta forma, a proposta do trabalho para cobrir as redes de acesso na Arquitetura se baseia em utilizar MAPs com rádios de banda dupla.

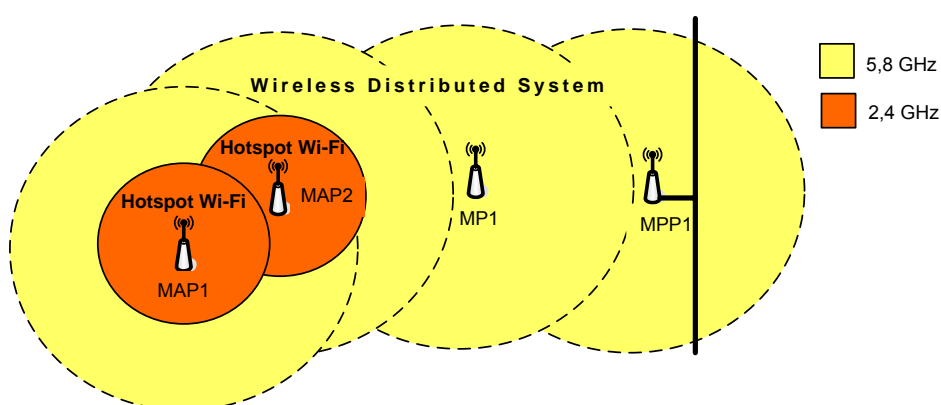


Figura 24 - Integração dos MAPs ao WDS Mesh

Para exemplificar, pode-se verificar que o MAP1 (Figura 24), por exemplo, ao estabelecer um hotspot Wi-Fi para o acesso dos usuários estaria utilizando um rádio operando a 2,4GHz, ao mesmo tempo que estaria integrado ao WDS utilizando um segundo rádio operando a 5,8 GHz. A integração de backbone mesh e AP provê uma grande flexibilidade na montagem de redes de acesso Wi-Fi, permitindo a

criação de densas redes metropolitanas Wi-Fi com um backbone mesh 5.8 GHz de alta capacidade. Estes equipamentos poderiam ser configurados para trabalhar com a mesma potência dos MPs no WDS e para os hotspots Wi-Fi poderiam utilizar rádios operando até a 24 dbm, com ganho de antena de 5,5 dbi, podendo cobrir uma área de aproximadamente 4 Km.

Uma das principais restrições das WLANs é a sua cobertura, limitada a potência dos rádios dos APs. A disponibilidade de um WDS em malha permite quebrar com esta restrição, na medida que os equipamentos Mesh repassam todo tráfego para um nó vizinho até chegar ao gateway, estendendo a cobertura dos atuais hotspots para hotzones, como apresentado na Figura 25.

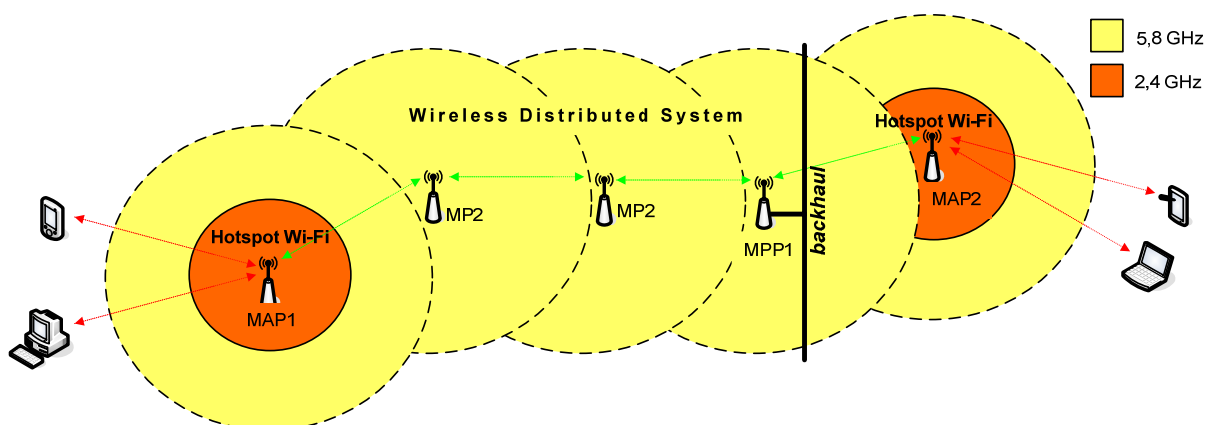


Figura 25 - Acesso de backhaul

### 3.3.2 Segurança

Um aspecto de extrema importância em qualquer projeto de redes, em especial em projetos de redes sem fio, como no caso das rede WMesh é a segurança. Para garantir ao usuário final uma completa segurança no WDS é essencial que os dados enviados por um MP não possam ser escutados ou modificados por alguma estação não autorizada ou MPs intermediários, ou seja, deve-se garantir que o ingresso de qualquer MP na rede seja autorizada após autenticação do enlace entre dois MPs, utilizando algoritmos de criptografia fortes como AES, por exemplo. Ao mesmo tempo deve-se proibir o acesso de usuários não-autorizados à rede.

Esta seção irá apresentar os mecanismos de segurança a serem empregados na Arquitetura no intuito de garantir a privacidade, confidencialidade das informações e autenticação dos usuarios.

### 3.3.2.1 Autenticação

Uma característica importante da Arquitetura é prover flexibilidade no acesso dos usuários, possibilitando que diferentes serviços sejam disponibilizados em uma área com diferentes níveis de segurança. Desta forma uma sub-rede voltada para serviços públicos por exemplo, pode utilizar criptografia WPA e ser de acesso exclusivo aos sistemas da prefeitura enquanto outra sub-rede, baseada nas mesmos equipamentos, pode ser utilizado pelo corpo de vendas de outra corporação, com criptografia WEP e com acesso à internet. Ainda neste mesmo backbone, outra sub-rede pode ser utilizada por usuários de banda larga somente para acesso à internet sem criptografia. Todos esses serviços correndo na mesma rede Mesh.

Para exemplificar o primeiro caso, que há necessidade de maior nível de segurança e se deseja negar o acesso de usuários não autorizados à rede WMesh, cada estação deve ser capaz de se autenticar através de mecanismos 802.11i. Ao utilizar o modelo de rede Mesh conectada, o 802.11x é usado entre a estação e o MAP, utilizando o protocolo de autenticação extensível (EAP) para transportar a sinalização de autenticação em direção à infra-estrutura final.

A proposta consiste em empregar o WPA2-Enterprise, utilizando controle de acesso através da mútua autenticação entre os MAPs e as STAs e empregando as mais recomendadas tecnologias de segurança disponíveis no mercado (802.11x, EAP, RADIUS), com geração de chaves dinâmicas TKIP e reforço de integridade de chaves co MIC. A utilização do protocolo 802.11x com EAP permite que seja definido uma conta de cliente para os MPs e os MAPs na base de dados do servidor RADIUS que se encontra no núcleo da rede. Assim, a inclusão de um MP ou MAP estará condicionado a sua autenticação junto ao servidor RADIUS, evitando assim o acesso de equipamentos não autorizados.

Convém observar que como os MPs e os MAPs na rede em malha estão instalados em pontos fixos, ou seja, não apresentam mobilidade, o overhead gerado no WDS pelas reautenticações será baixo, só ocorrendo quando houver necessidade de novas atualizações.

### 3.3.2.2 Codificação

A proposta para garantir a confidencialidade e integridade das informações trafegadas no WDS consiste em utilizar um sistema de codificação salto a salto. Para

uma estação origem A se comunicar com uma estação destino B deve codificar o seu tráfego no nível MAC utilizando a chave 802.11i que divide com o MAP, ao qual está associado. O MAP em contrapartida descodifica este dado cifrado e recodifica o tráfego utilizando a chave de grupo 802.11i, e então o envia para o próximo MP. Este dado cifrado irá ser transportado pelos nós intermediários sem sofrer nenhum processo de decodificação. Quando o tráfego alcança o último MAP antes da estação de destino B, o MAP descodifica o tráfego utilizando a chave de grupo 802.11i e o recodifica utilizando a chave 802.11i que o MAP divide com a estação B, e então o envia. Dessa forma, os MPs intermediários não são necessário para descodificar/recodificar o tráfego enviado, garantindo a privacidade dos usuários no WDS. Com relação ao 802.11i tradicional, a idéia é que todos os MAPs em uma rede em malha pudesse dividir a mesma chave de grupo, que é gerada e distribuída através de uma variedade de mecanismos possíveis.

### 3.3.3 Roteamento

O roteamento para redes em malha é realizado na camada de enlace (camada 2) e é baseado no seguinte esquema: obtendo-se o endereço IP de destino para o qual os dados foram enviados, a fonte STA obtém o endereço MAC do destino através do protocolo ARP e verifica em sua tabela de roteamento MAC se a rota existe ou precisa ser criada. Se a rota for conhecida, os conjuntos de dados são enviados de acordo com uma rota existente em direção ao próximo salto. Se uma rota não for existente, então cria-se uma nova.

O tamanho das redes em malha e o nível de mobilidade dependem da sua aplicação. As redes em malha podem ser redes muito dinâmicas (i.e., os MPs estão sendo incluídos/excluídos freqüentemente). Portanto, o uso de um único protocolo de roteamento, tanto pró-ativo quando reativo, não seria eficiente. Um protocolo híbrido pode ser utilizado para superar esse problema, onde o protocolo poderia ser pró-ativo em direção aos MPs vizinhos, e reativo em direção aos MPs distantes. Alternativamente, algoritmos múltiplos podem ser utilizados simultaneamente, onde a rede em malha é segmentada em grupos menores. Dentro de cada grupo um algoritmo pró-ativo é utilizado, enquanto que entre os outros grupos um algoritmo reativo pode ser utilizado.

Como alternativa, as redes em malha podem usar protocolos de roteamento adaptáveis, cujo comportamento é modificado dinamicamente pelo controle da

mudança nos parâmetros da rede (e.g., tamanho, dinamicidade, mobilidade, etc.) Isso permitiria o uso de algoritmos pró-ativos quando uma rede controlada em tamanho e com baixa mobilidade adota algoritmos reativos quando uma rede cresce em tamanho e/ou se torna muito móvel. Além disso, o protocolo modifica seu comportamento em tempo real conforme a rede modifica sua topologia.

### 3.3.3.1 Métricas

Um componente essencial para a solução de roteamento é o uso de unidades métricas para determinar a rota preferível entre a fonte e o destino. Uma unidade métrica utilizada para determinar a distância mínima entre dois nós é a 'contagem de saltos'; contudo, a fim de fornecer um roteamento eficiente e suportar redes em malha complexas com diferentes QoS, canais, latência, e requisitos de segurança, uma unidade métrica multi-dimensional capaz de capturar as condições de conexão deve ser utilizada. O algoritmo de roteamento utilizado para descobrir rotas incluiria o cálculo da unidade métrica multi-dimensional que pode incluir os parâmetros das QoS, eficiência de potência, segurança de conexões sem fio e nó intermediário, confiabilidade etc. Um algoritmo de roteamento baseado nos parâmetros de QoS é necessário, por exemplo, para sustentar aplicações em tempo real exigentes tais como voz e vídeo.

A unidade métrica multi-dimensional será utilizada diferentemente de rede para rede, dependendo do caso de uso específico e exigências das aplicações.

### 3.3.4 Considerações de Aplicação da Arquitetura

A implementação da Arquitetura WMesh Metropolitana, proposta neste trabalho, tem como principais características:

#### a) Empregar equipamentos Wi-Fi padrão de mercado

A solução prevê a aquisição de equipamentos Wi-Fi padrão de mercado, necessitando de pequenas alterações para emprego da tecnologia Mesh. A expansão da tecnologia com o crescimento do uso das WLANs tem propiciado a produção em massa destes equipamentos, reduzindo significativamente os custos de sua aquisição.



b) Conexão por banda que dispensa licença de uso

Prover conectividade por meio de bandas de frequências destinadas a serviços médicos, científicos e experimentais que dispensam licença junto à ANATEL, desde que sejam observados os limites de frequência, modulação, potência e intensidade de campo.

Obtêm-se uma considerável redução nos custos de implantação do projeto ao se utilizar as frequências de 5,8 GHz e 2,4 GHz, já que não é necessário o pagamento referente à utilização de uma determinada banda do espectro eletromagnético, situação que se verifica para as bandas licenciadas do GSM, UMTS, por exemplo. Porém, estas mesmas bandas livres de licença estão disponíveis a outras implementações. A aplicação de um sistema concorrente na mesma área de cobertura poderá interferir no outro sistema e vice-versa, degradando o desempenho da rede sem fio e por vezes inviabilizando o funcionamento de uma rede, caso o outro esteja aplicando maior potência. Deve-se observar esta limitação durante toda a vida do projeto, já que a qualquer momento um equipamento poderá ser ligado na mesma área coberta. Para contornar este problema, deve-se utilizar um analisador de espectro e propor a utilização de diferentes canais.

c) Redução nos custos com infra-estrutura

Como nem todos os MPs precisam ser interligados ao DS cabeado (acesso de backhaul), ao contrário das redes 802.11 tradicionais, há considerável redução na necessidade de obras civis e nos transtornos associados à implantação de uma rede fixa.

Em relação à construção do WDS, alguns projetos poderiam utilizar os postes de iluminação pública para instalação dos MPs e MAPs, utilizando-se da infra-estrutura existente em determinada região, sendo necessário somente a previsão de um ponto de energia elétrica para alimentação dos equipamentos. Desta forma obtêm-se uma redução nos custos associados à construção da infra-estrutura, desde que a obtenção de licença de uso destes postes junto aos órgãos públicos dispense o pagamento de aluguel ou seu valor seja baixo.

Conclui-se que a utilização da infra-estrutura existente não é uma solução viável para todos os casos, ou porque em determinadas áreas será necessário a construção de infra-estrutura própria para garantir que a primeira Zona

de Fresnel esteja livre de interferências ou porque o custo com o aluguel cobrado pela licença de uso é alto.

d) Auto-configuração dos equipamentos Mesh

Ao utilizar os recursos de configuração automática os equipamentos descobrem sozinhos qual a melhor distribuição de frequência, melhor modulação e roteamento, não sendo necessário a criação dos Mapas de frequência, engenharia de RF ou planejamento de rede, basta posicionar os equipamentos e a rede irá se reconfigurar imediatamente. Da mesma forma, há gerenciamento da rede de forma contínua, se alguma interferência surgir ou a banda efetiva for afetada, a rede modifica as rotas e/ou muda os planos de frequência em poucos segundos, através do recurso de recuperação automática de falhas.

e) Redução nos custos associados ao Capex e Opex

O desempenho e o uso da plataforma reduz significativamente o n° de STAs necessários para a cobertura de uma dada área, implicando a redução de investimento (Capex), assim como redução nos custos de operação e manutenção (Opex).

f) Licença de Serviço de Comunicação Multimídia (SCM)

Com relação a oferta de serviços, um provedor wireless para operar legalmente deve solicitar junto à ANATEL a licença de Serviço de Comunicação Multimídia (SCM). O SCM foi criado em 2001 para atender uma ampla gama de serviços de telecomunicações, desde comunicação por voz até a transmissão de dados, tanto por meio de fios (par metálico) ou fibras ópticas, como via rádio ou satélite. A resolução n° 386, de 3/11/2004 estabelece um preço público de autorização devido pelo direito de exploração do serviço de Comunicação Multimídia de R\$9.000,00, que pode ser pago em até 3 parcelas semestrais iguais.

### 3.3.5 Vantagens

A Arquitetura de rede WMesh proposta apresenta as seguintes vantagens:

a) Flexibilidade

A aplicação da Arquitetura torna-se flexível, na medida que a rede pode ser configurada para aceitar diferentes métodos de acesso, métodos de

criptografia e endereçamento IP, permitindo que cada serviço seja oferecido com suas próprias características, sem interferir nos demais serviços prestados pela mesma infra-estrutura.

Para exemplificar, o MAP1, MAP2 e MAP3 dentro do SA2 da Arquitetura proposta poderiam oferecer diferentes serviços com características específicas. O MAP1 e o MAP2 disponibilizariam acesso aos funcionários de uma empresa e permitiriam a troca e obtenção de informações corporativas desde que tanto os MAPs quanto os equipamentos dos usuários estivessem configurados com todos os recursos de segurança necessários. Já o MAP3 poderia estar disponibilizando acesso público à internet em um salão de convenções.

#### b) Escalabilidade

Por utilizar equipamentos auto-configuráveis, de fácil instalação e que exigem pouca infra-estrutura, possibilitam que novos MPs ou MAPs sejam adicionados facilmente ao “*backbone*” da rede.

#### c) Balanceamento de carga e Resiliência

Cada SA deve possuir pelo menos um MPP, com 54 Mbps (20 Mbps sustentado) de largura de banda. Porém, recomenda-se utilizar dois ou mais MPPs em cada SA de forma a incrementar a largura de banda efetiva da rede e embutir resiliência à Arquitetura.

Na Arquitetura pode-se observar que o MPP1 do SA2 é o principal enlace de backhaul. Porém, foram adicionados os MPP2 e MPP3 como uma forma de obter uma maior largura de banda efetiva e inserir resiliência dentro do SA.

Uma observação interessante é que a Arquitetura oferece resiliência entre os SAs, na medida que os MPP2 e o MPP3 servem como uma rota alternativa dentro de cada SA na ocorrência de uma falha nos MPPs principais.

#### d) Engenharia de tráfego

Como ferramenta para os operadores de rede a engenharia de tráfego tem por objetivo a descoberta de caminhos e enlaces alternativos e disponíveis, no intuito de direcionar o tráfego para rotas diferentes do caminho mais curto, de modo que seja feito o uso ideal dos recursos da rede.

A capacidade de comunicação por múltiplos nós dentro de cada WDS incrementa as possibilidades da engenharia de tráfego. Se bem dimensionada irá possibilitar o tráfego com rotas alternativas, evitando-se os pontos de congestionamentos e os obstáculos de linha de visada, aprimorando ao mesmo tempo o desempenho à medida que os clientes entram na rede. Maximizando o desempenho das conexões de rede existentes, os provedores de serviço poderiam estar atendendo os acordos de nível de serviço (Service Level Agreements - SLAs) ao mesmo tempo que estariam reduzindo o custo com a aquisição de novos equipamentos.

### 3.4 Estudo de Caso

#### 3.4.1 Universidade Federal do Rio de Janeiro

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foi criada no dia sete de setembro de 1920 com o nome de Universidade do Rio de Janeiro. Foi reorganizada em 1937, quando passou a se chamar Universidade do Brasil e em 1965 recebeu a atual denominação. Atualmente, após passar por inúmeras mudanças e sobreviver às conturbadas fases da história nacional, a UFRJ se destaca tanto no cenário nacional quanto internacional como importante instituição no fomento à pesquisa.

A Universidade não encontra-se localizada em uma área delimitada, sendo formada por diferentes Centros de pesquisas que estão distribuídos da seguinte forma: na Cidade do Rio de Janeiro no campus da Ilha do Fundão, campus da Praia vermelha e algumas unidades isoladas no Centro da Cidade, lagoa rodrigo de freitas, laranjeiras e na cidade de Macaé, com um campus avançado.

O estudo de caso será aplicado no campus da Ilha do Fundão (Anexo “A”). Este campus é servido por um backbone cabeado que interliga os principais prédios da instituição e disponibiliza diferentes serviços a seus usuários, porém apresenta como limitações:

- O acesso dos usuários é fixo, dependente de estações de trabalho ligadas ao sistema cabeado em salas de aula, laboratórios ou em bibliotecas; e
- Falta de interligação de alguns prédios da Universidade com o backbone cabeado por estarem localizados em áreas isoladas. Assim sendo o Alojamento dos estudantes, a Divisão Gráfica, o Almoxarifado central, a Fundação Bio-Rio são

alguns exemplos de instalações que não estão interligados ao backbone cabeado devido aos altos custos necessários para construção da infra-estrutura.

Neste contexto, com o objetivo de disseminar o uso e a troca das informações a comunidade acadêmica com mobilidade e flexibilidade, assim como de viabilizar o acesso à rede as instalações que hoje não estão interligadas a infra-estrutura cabeada, este estudo de caso irá explorar o uso de uma nova e inovadora TIC. A apresentação do estudo de caso consiste na aplicação da Arquitetura de rede WMesh Metropolitana, proposta neste trabalho, em um projeto de rede sem fio Metropolitana no campus da Ilha do Fundão/UFRJ.

### **3.4.2 Formação do backbone Metropolitano**

A perspectiva com a implementação da infra-estrutura de Rede sem fio Metropolitana na Cidade Universitária da Ilha do Fundão é fornecer cobertura externa e interna com a melhor relação custo x benefício do mercado e disponibilizar acesso a serviços de banda larga com mobilidade e flexibilidade aos alunos e professores da Universidade

As principais características do campus universitário da Ilha do Fundão é apresentar relevo predominantemente plano e boa infra-estrutura de estradas, onde as vias principais são extensas e cortam a ilha de um extremo a outro. Grandes postes de iluminação estão instalados no canteiro central das principais vias e como são de responsabilidade da própria Prefeitura da Universidade servirão como infra-estrutura existente, não onerando o projeto com pagamento de aluguel de utilização.

A proposta para construção e formação da rede de distribuição em malha consiste na instalação e configuração dos equipamentos MPs. Para a instalação destes equipamentos seria empregado a própria infra-estrutura existente do campus (postes de iluminação e torres dos prédios) sendo necessário apenas disponibilizar um cabo de energia elétrica para alimentação dos dispositivos. Esta infra-estrutura iria viabilizar a formação do backbone da rede Metropolitana, conforme apresentado no Anexo “B”, com cobertura para atender as seguintes instalações:

- Os Centros de pesquisas;
- Reitoria;
- Coppead;
- Hospital Pedro Ernesto;
- Alojamento dos estudantes;

- Divisão gráfica;
- Almoxarifado central;
- Fundação Bio-Rio;
- Polo de Xistoquímica;

Para prover o acesso do backhaul durante a fase inicial de operação da rede a proposta consiste na instalação de apenas 3 MPPs: um no Hospital Universitário, outro no Núcleo de Computação Eletrônica e por último um na Reitoria, conforme apresentado no Anexo “B”. Com esta distribuição obtêm-se uma largura de banda efetiva em torno de 40 Mbps e um bom nível de resiliência.

É interessante observar que ao utilizar equipamentos de radiação restrita os custos de implantação do backbone estariam limitados à compra dos equipamentos MPs e MPPs (para interligação da malha Metropolitana à rede cabeada).

Logo, o custo inicial do projeto seria substancialmente reduzido pelos seguintes fatores:

- Dispensar o pagamento da licença de operação SCM junto à ANATEL, pois a proposta deste trabalho consiste na implantação de uma rede sem fio privativa da comunidade do Campus UFRJ, permitindo o acesso aos serviços da rede universitária de forma gratuita, não caracterizando um provedor SCM.
- Dispensar o pagamento da licença de utilização do espectro de frequência;
- Empregar a infra-estrutura existente, tais como os postes de iluminação e prédios da universidade que servirão para instalação dos equipamentos MPs; e
- Dispensar o aluguel dos enlaces do backhaul junto às operadoras, pelo fato deste tipo de acesso ser fornecido pela própria Universidade,

Pelo fato da proposta para construção do backbone sem fio Metropolitano prever cobertura para todo o campus universitário, este estudo de caso, além da formação da Rede acadêmica, propõe algumas extensões ao projeto:

- Formação de Redes comunitárias, na vila residencial dos moradores da UFRJ e na vila residencial da Cia de Cmdo da 1ª Região Militar; e
- Um Sub-projeto de inclusão digital a ser implantado na Escola Municipal Tenente Antonio João.

### 3.4.2.1 Rede Acadêmica

Esta rede será construída a partir da interligação dos MAPs ao backbone sem fio metropolitano, distribuídos conforme o Anexo “C” com a finalidade de levar à comunidade acadêmica o acesso a serviços e permitir a troca de informações com mobilidade e flexibilidade em restaurantes, anfiteatros e alojamentos, por exemplo.

O acesso à rede estaria condicionado a utilização de uma conta a ser distribuída aos estudantes e professores tão logo estes cheguem a Universidade. Esta conta seria única, sendo utilizada para fins de autenticação e acesso aos diferentes serviços disponibilizados.

É interessante observar que dentro do campus universitário atualmente vários centros de pesquisa oferecem acesso a uma rede sem fio através de hotspots isolados. Estes hotspots atendem a diferentes necessidades e por vezes estão instalados de forma equivocada, servindo como porta de entrada para acessos indevidos. Isto acontece porque é muito difícil manter em cada centro um profissional capacitado a instalar e manter uma rede sem fio que atenda a todos os requisitos de segurança necessários.

Conclui-se que com a implantação de uma rede sem fio Metropolitana utilizando o modelo de administração e gerência centralizada haverá uma significativa redução no esforço de trabalho com a administração das contas de usuários e uma otimização dos custos quanto a aquisição de novos equipamentos e contratação e capacitação de corpo técnico.

Com relação ao acesso dos usuários à rede será necessário apenas a aquisição de um equipamento que disponha de pelo menos uma interface sem fio. Com a proliferação das redes locais 802.11, estes equipamentos apresentam custos relativamente baixos e são fáceis de serem adquiridos no mercado.

Quanto aos serviços de rede a proposta consiste em disponibilizar, na primeira fase de operação da rede, apenas aqueles considerados básicos, como acesso a serviços de e-mail, acervo das bibliotecas, ao site da CAPES. Baseado nas análises de tráfego obtidas durante os seis primeiros meses de operação da rede, seria possível em uma segunda fase propor a extensão destes serviços com a instalação de câmeras de segurança no campus, acesso ao serviço de VoIP do NCE e outros.

Outra possibilidade da Arquitetura seria viabilizar a interligação entre dois ou mais SAs. Com a construção de uma hotzone no campus da praia vermelha seria possível interligar os dois campus universitários utilizando o núcleo da rede e estender a cobertura do provedor de serviço. Desta forma, com administração e gerência centralizada seria disponibilizado aos usuários acesso aos recursos da rede em qualquer uma das duas hotzones utilizando apenas uma conta de acesso.

#### 3.4.2.2 Redes Comunitárias

Esta rede seria construída a partir da interligação dos MAPs ao backbone sem fio metropolitano, distribuídos conforme o Anexo “D” com a finalidade de viabilizar a formação de pequenas redes comunitárias.

O objetivo a ser alcançado com a implantação destas redes é oferecer aos moradores da vila residencial dos funcionários da UFRJ e aos militares da vila residencial do CMDO da 1ª RM uma alternativa aos serviços de conexão discada via modem. Esta população é obrigada a utilizar a conexão discada à internet pelo fato de estarem localizadas em áreas consideradas remotas e serem caracterizadas por uma pobre infra-estrutura da rede pública de comunicação. Os provedores de serviço alegam que o custo x benefício da implantação de infra-estrutura própria inviabiliza o projeto e não garante o retorno do investimento.

Com a formação destas redes comunitárias seria possível disponibilizar acesso gratuito à internet em banda larga a esta população considerada excluída digitalmente.

Quanto ao acesso à rede, como não há necessidade de um controle rígido, os usuários iriam acessar à Internet como se estivessem utilizando um hotspot público, podendo empregar algoritmos de criptografia simples como WEP, por exemplo.

No intuito de expandir o uso destas redes seria possível estimular a aquisição de equipamentos locais de cliente (Customer Premise Equipment - CPEs) Wi-Fi de baixo custo por parte destas comunidades, já que boa parte das casas conta com pelo menos um microcomputador. Estes CPEs Wi-Fi não são caros devido ao processo de fabricação em massa, que só é possível por utilizarem as faixas de áreas livres do espectro (embora, numa área livre, alguns regulamentos tenham que ser obedecidos de forma que todos possam coexistir).



### 3.4.2.3 Sub-projeto de Inclusão digital

A proposta deste sub-projeto consiste em fornecer acesso à internet aos alunos da Escola Municipal Ten Antonio João. Para isto seria necessário a construção de um laboratório de informática com previsão de receber inicialmente 20 computadores e atender satisfatoriamente alunos e professores. Para o acesso à internet seria necessário apenas um computador equipado com interface Wi-Fi, que ao realizar uma conexão sem fio com o MAP11 estaria interligado ao backbone da rede (Anexo “D”).

Como não há necessidade de um controle rígido no acesso à rede, o computador dedicado a realizar a conexão com o MAP11 poderia ser configurado da mesma forma empregada nas redes comunitárias, como se estivesse utilizando um hotspot público.

O objetivo principal a ser alcançado com a implementação deste sub-projeto é realizar a inclusão digital desta escola, levando a informação para professores e alunos e também permitir que a Universidade esteja patrocinando o emprego de projetos inovadores de TIC dentro do contexto da inclusão digital.

### 3.4.3 Benefícios da rede metropolitana

Existem muitos benefícios decorrentes desta solução. Como dito anteriormente, trata-se de uma solução inovadora que vêm para a construção de novos paradigmas e para estabelecer um novo conceito de uso das infra-estruturas de Telecomunicações e de Tecnologia da Informação. Seu impacto será relevante levando a revolução digital à Universidade. Esta nova abordagem possui importantes impactos econômicos, políticos e sociais. Dentre os principais podemos destacar:

- Custos com administração irão baixar com o uso da informática;
- Difusão cultural;
- Inclusão Digital;
- Democratização no acesso a serviços e informações;
- Projeção do ensino a distância, alfabetização digital e manutenção das bibliotecas virtuais;
- Democratização no acesso as comunicações para os cidadãos;
- Prestação eletrônica de informações e serviços;
- Estímulos aos negócios eletrônicos;

- Modernização da máquina pública;
- Transparência e monitoramento de execução orçamentária, na prestação de contas públicas;
- Melhora na qualidade dos serviços prestados aos cidadãos, facilidade no acesso e redução dos custos;
- Estimulo ao relacionamento entre governos e cidadãos; e
- Fortalecimento do processo democrático.

## 4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram discutidos os aspectos das redes em malha e as propostas apresentadas pelo TG 802.11s em busca de uma padronização da tecnologia Mesh.

Estes conceitos foram essenciais para formulação da proposta deste trabalho, que consiste na aplicação da Arquitetura de rede WMesh, apresentada no capítulo 3, em projetos de redes Metropolitanas.

A Arquitetura adotada emprega equipamentos 802.11, padrão de mercado, com pequenas alterações, em soluções de projeto de backbone de rede e de rede de acesso dos usuários (acesso de última milha) em projetos de redes sem fio Metropolitanas. Através da análise dos principais aspectos de aplicação da Arquitetura seria possível comprovar uma significativa redução no custo inicial de projeto.

Esta redução no custo inicial poderia viabilizar seu emprego como solução de comunicação de baixo custo para redes Metropolitanas, e como alternativa à tecnologia WiMax, em pequenas comunidades no interior dos estados ou em comunidades de baixa renda.

Ainda no capítulo 3 foi apresentado um estudo de caso aplicado no campus da Ilha fundão da Universidade Federal do Rio de Janeiro que contempla a formação de uma rede acadêmica, redes comunitárias e um projeto de inclusão digital. O objetivo principal deste estudo de caso foi apresentar os principais benefícios que a implementação desta solução poderia trazer para a cidade universitária e as comunidades residenciais que integram o campus.

A expectativa com a formulação deste trabalho é atrair investimentos para sua implementação e fomentar o estudo e desenvolvimento da tecnologia mesh, que promete ser o futuro da comunicação sem fio para os próximos anos.

### 4.1 TRABALHOS FUTUROS

Nesta linha de pesquisa, é proposto como trabalhos futuros o estudo da implementação da topologia Mesh dentro do padrão 802.16 (WiMAX) avaliando o impacto da mobilidade na implementação de QoS, segurança, protocolos de roteamento e suas métricas.

## REFERÊNCIAS

AKON, Robert., **Internet Timeline - The History of the Net**. School of Communications, Grand Valley State University, Allendale, Michigan, USA, disponível em <<http://www.simonevb.com/hobbestimeline/>>. Acesso em: 10 Jan 07.

ALBUQUERQUE de, Célio Vinícius Neves et al. **GT-Mesh – Relatório Técnico 1 - Termo de Referência e Estado da Arte**. Rede Nacional de Pesquisas, Fevereiro 2006.

ALBUQUERQUE de, Célio Vinícius Neves. **GT-Mesh - Proposta de Projeto Piloto - Grupo de Trabalho - Segunda Fase**. Rede Nacional de Pesquisas, Setembro 2006.

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. **Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**. Resolução N° 365, de 10 Maio de 2004.

\_\_\_\_\_. **Regulamento sobre Uso de Radiofrequências na Faixa de 2.400MHz a 2.483,5MHz por Espalhamento Espectral ou Tecnologia de Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência**. Anexo a Resolução n. 397, 4 p. Mai 2004.

ANNAN, Kofi A. **The Wireless Internet Opportunity for Developing Countries**. New York, 26 Jun 2003.

AKYILDIZ, Ian F.; WANG, Xudong; WANG, Weiling. **Wireless Mesh networks: A survey**. Computer Networks Journal (Elsevier), 2005.

BARRADAS, Ovídio. **Sistemas em Radiovisibilidade**. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, Brasil. 1978. 693 p.

BELAIR Networks, **Capacity of Wireless Mesh Networks, Understanding Single Radio, Dual Radio and Multi-Radio Wireless Mesh Networks, 2006**. Disponível em: <[http://www.belairnetworks.com/resources/pdfs/Mesh\\_Capacity\\_BDMC00040C02.pdf](http://www.belairnetworks.com/resources/pdfs/Mesh_Capacity_BDMC00040C02.pdf)>. Acesso em: 12 Abr 07.

BICKET, John; AGUAYO, Daniel, BISWAS, Sanjit; MORRIS, Robert. **Architecture and Evaluation of an Unplanned 802.11b Mesh Network**. Mobicom, agosto de 2005. Disponível em: <<http://pdos.csail.mit.edu/roofnet/>>. Acesso em: 28 Ago 06.

Cabianca, Luís Antonio e Bulhman, Haroldo José, **Redes LAN/MAN Wireless II: Funcionamento do Padrão 802.11, 2006**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrwanman2/>>. Acesso em : Dez 06.

Castaldelli, Michel, **Aplicações Atuais e Futuras para Internet Móvel, 2003**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/colaborador/michelcastaldell.asp>>. Acesso em Out 06.

CASTELLS, Manuel. **A sociedade em rede**. São Paulo: Paz e Terra, 1999. v. 1.

Cavalcanti, Carlos Frederico M. C. **Ouro Preto Cidade Digital, 2005**. Disponível em: <[http://www.rnp.br/\\_arquivo/wrnp/2005/Wi-MAX-Fortaleza.pdf](http://www.rnp.br/_arquivo/wrnp/2005/Wi-MAX-Fortaleza.pdf)>. Acesso em: 10 Nov 06.

CISCO, **Cisco Wireless Mesh Networking Solution Overview, 2006**. Disponível em: <[http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6548/c1031/cdcont\\_0900aecd8036884a.pdf](http://www.cisco.com/application/pdf/en/us/guest/products/ps6548/c1031/cdcont_0900aecd8036884a.pdf)> . Acesso em: 10 Mar 07.

CONNER, Steven, GRYDER, Roxanne. **Building a Wireless World with Mesh Networking Technology**. Technology Intel Magazine, Nov de 2003.

Coelho, Franklin Dias. **Piraí Digital, 2005**. Disponível em: <[http://www.pirai.rj.gov.br/piraidigital/show\\_arquivos/v3\\_document.html](http://www.pirai.rj.gov.br/piraidigital/show_arquivos/v3_document.html)>. Acesso em: 10 Nov 06.

FACCIN, Stefano M.; WIJTING, Carl; KNECKT, Jarkko; DAMLE, Ameya. **Mesh WLAN Networks: Concept and System Design**. IEEE Wireless Communications. Abril 2006.

FARREL, Andrew. , **A Internet e seus protocolos: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2005.

Franco, Celso Torquato Junqueira. **Experiência do Município de Sud Mennucci em inclusão digital utilizando rede sem fio, 2006**. Disponível em: <[http://www.redepublicatic.sc.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=cat\\_view&gid=15&Itemid=90&lang=>](http://www.redepublicatic.sc.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=15&Itemid=90&lang=>)>. Acesso em: 10 Nov 06.

GOUVEIA, Luis Manuel Borges, “**Sociedade da Informação - Notas de contibuição para uma definição operacional**”, Novembro de 2004. Disponível em : <<http://www2.ufp.pt/~lmbg/com/sociedadedaInformacao.pdf>>. Acesso em: 25 Nov 06.

GROSH, Samik, BASU, Kalyan e DAS, Sajal K., **What a Mesh! An Architecture for Next-Generation Radio Access Networks**, IEEE Network, Setembro/Outubro 2005.

HO, Camden; RAMACHANDRAN, Krishna; ALMEROTH, Kevin C.; BELDING-ROYER, Elizabeth M.. **A Scalable Framework for Wireless Network Monitoring**, 2° ACM International Workshop on Wireless Mobile Applications and Services on WLAN Hotspots (WMASH), Philadelphia, PA, setembro de 2004. Disponível em: <<http://moment.cs.ucsb.edu/meshnet/>>

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE P802.11**: Standard Group Web Site of 802.11. Disponível em: <<http://www.ieee802.org/11/>>. Acesso em: 10 Out 06.

\_\_\_\_\_. **IEEE P802.11s**: Standard Group Web Site of TGs 802.11. Disponível em: <[http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs\\_update.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.htm)>. Acesso em: 20 Out 06.

\_\_\_\_\_. **IEEE P802.16s**: Standard Group Web Site of TGs 802.16. Disponível em: <<http://grouper.ieee.org/groups/802/16/tgs.html>>. Acesso em: 20 Out 06.

INTEL, **Understanding Wi-Fi and Wi-Max as Metro-Access Solutions**, Intel Corporation, 2004.

ITU – International Telecommunications Union. **Birth of Broadband**, Sept 2003. Disponível em: <<http://www.itu.int/osg/spu/publications/sales/birthofbroadband/>>. Acesso em: Agosto de 2004.

JUN, Jangeun e SICHITIU, Mihail L.. **The Nominal Capacity of Wireless Mesh Networks**, IEEE Wireless Communications, Outubro 2003.

JUNIOR, Arthur R. dos Santos, **Projetos de Redes Locais sem fio**. Belo Horizonte: Editora Instituto Online Informática Ltda, 2005.

LEE, Myung J.; ZHENG, Jianliang; KO, Young-Bae; SHRESTHA, Deepesh Man. **Emerging Standards for Wireless Mesh Technology**. IEEE Wireless Communications. Korea, Abril 2006.

MAIA, R.M.F. **Bluetooth - Promessas de uma nova tecnologia**, Monografia de Conclusão do Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação - Faculdade Integrada do Recife, 2003.

Nortel Networks, **Wireless Mesh Network: Technical Overview, 2004**. Disponível em: <[http://www.apricot.net/apricot2004/doc/cd\\_content/25th%20February%202004/Internet%20Routing%20&%20Backbone%20Operations%20I/1%20-20Danny%20Ng/Apricot%202004%20Wireless%20Mesh.pdf](http://www.apricot.net/apricot2004/doc/cd_content/25th%20February%202004/Internet%20Routing%20&%20Backbone%20Operations%20I/1%20-20Danny%20Ng/Apricot%202004%20Wireless%20Mesh.pdf)>. Acesso em : Abril 2007

RAMANATHAN, Ram e REDI, Jason, **A Brief Overview of Ad Hoc Networks: Challenges and Directions**, IEEE Communications Magazine, Maio 2002.

Teixeira, Edson Rodrigues Duffles. **Wireless Mesh Networks, 2004**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialwmn/>>. Acesso em: 23 Out 06.

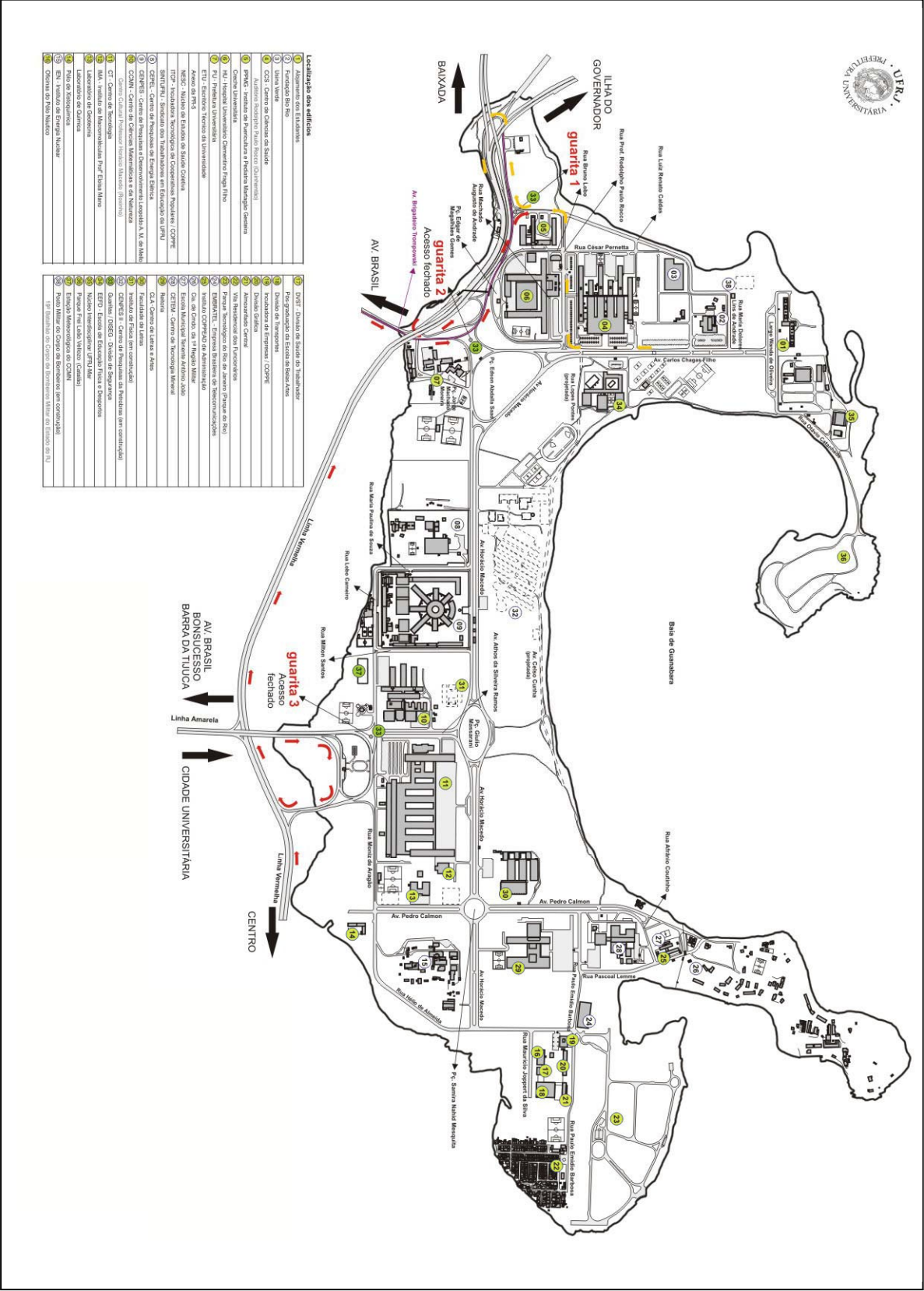
TSARMPOPOULOS, N.; KALAVROS, Y.; LALIS, S.. **A Low Cost and Simple-to-Deploy Peer-to-Peer Wireless Network based on Open Source Linux Routers**. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Fortaleza, CE, maio de 2005.  
Toh, C-K. **Ad-Hoc Mobile Wireless Networks**. Protocols and Systems. Prentice-Hall, 2002, pg 302.

Willians, Dave, **Wireless Mesh Equipment Market Tracker, 2007**. Disponível em : <<http://www.heavyreading.com/>>. Acesso em : Abril 2007.

ZAKON, Robert., **Internet Timeline - The History of the Net**. School of Communications, Grand Valley State University, Allendale, Michigan, USA, disponível em <<http://www.simonevb.com/hobbestimeline/>>. Acesso em: Dez 06.

ANEXO “A”

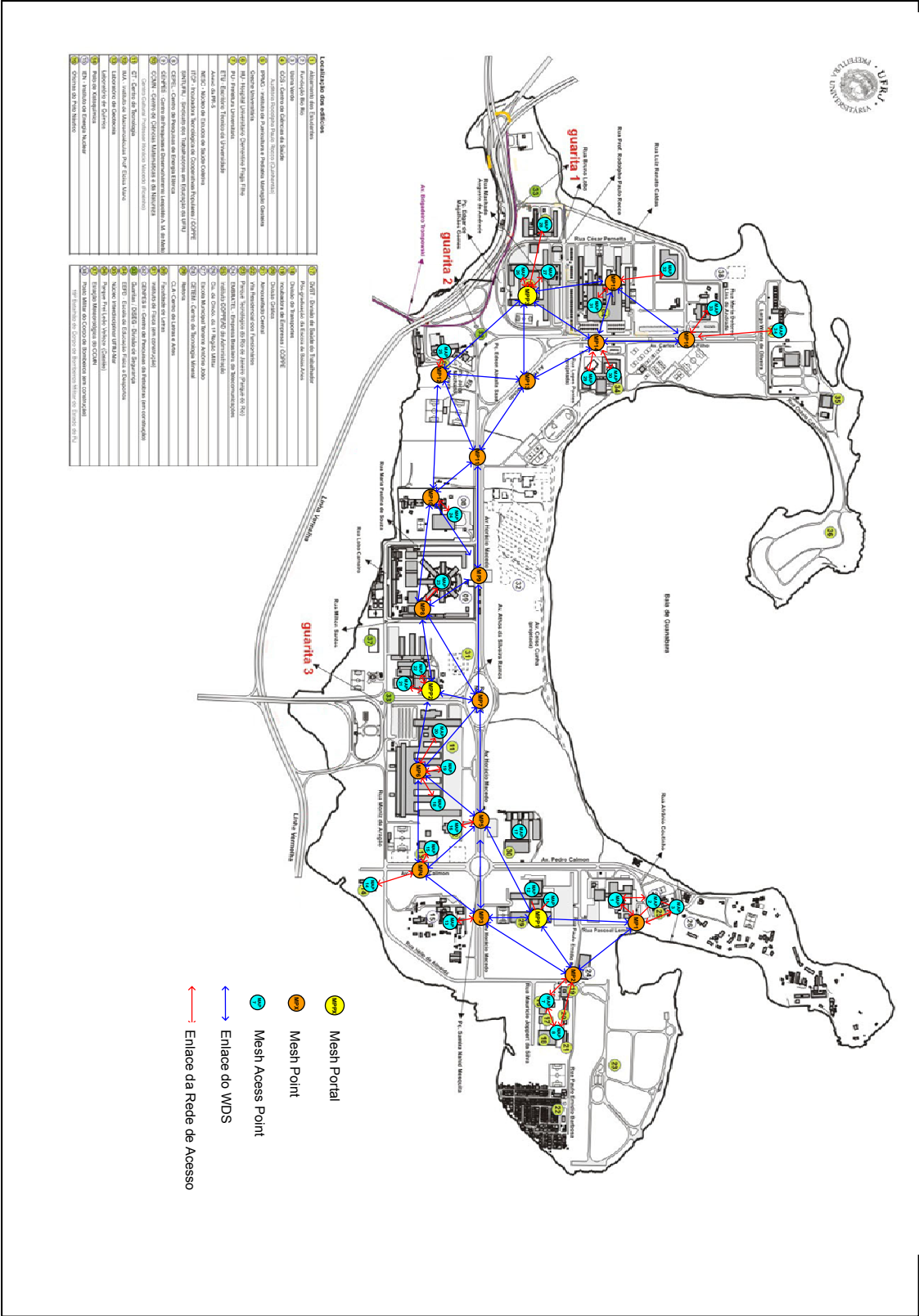
MAPA DO CAMPUS ILHA DO FUNDÃO







ANEXO “C”  
FORMAÇÃO DA REDE ACADÊMICA



ANEXO “D”  
FORMAÇÃO DAS REDES COMUNITÁRIAS

